

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **15.04.01 Машиностроение**
 Отделение **электронной инженерии**

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Повышение эффективности процесса сварки разностенных конструкций из сплавов Al за счет применения импульсного режима

УДК 621.791.76.052:669.715

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1BM71	Дворников Евгений Вячеславович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Князьков А.Ф.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Фадеева В.Н.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Дашковский А.Г.	К.Т.Н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	А.С. Киселев	К.Т.Н.		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП 15.04.01

Код результата	Результат обучения
<i>Общие по направлению подготовки (специальности)</i>	
P1	Способность применять глубокие естественнонаучные, математические и инженерные знания при создании новых конкурентоспособных технологий изготовления деталей и сборки машин с применением компьютерных технологий
P2	Способность ставить и решать инновационные инженерные задачи с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P3	Способность разрабатывать методики и организовывать проведение теоретических и экспериментальных исследований в области технологии машиностроения с использованием новейших достижений науки и техники
P4	Способность проводить маркетинговые исследования, используя знания проектного менеджмента, участвовать в создании или совершенствовании системы менеджмента качества предприятия
P5	Способность работать в многонациональном коллективе над междисциплинарными проектами в качестве исполнителя и руководителя
P6	Способность подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, методическую документацию, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
<i>Профиль 1 «Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении»</i>	
P7	Способность выполнять и обосновывать инженерные проекты для создания сложных конкурентоспособных изделий машиностроения и технологий их производства, в том числе с использованием современных CAD/ CAM/ CAE продуктов.
P8	Готовность обеспечивать прогрессивную эксплуатацию оборудования и других средств технологического оснащения автоматизированного производства изделий машиностроения, осваивать и совершенствовать технологические процессы изготовления новых конкурентоспособных изделий, обеспечивать их технологичность.
<i>Профиль 2 «Машины и технологии сварочного производства»</i>	
P9	Применять глубокие знания в области конструирования сборочно-сварочных приспособлений, механизации и автоматизации сварочных процессов с учетом специфики технологии изготовления сварной конструкции
P10	Решать инновационные задачи по сварке специальных сталей, применению

	современных методов неразрушающего контроля с использованием системного анализа и моделирования процессов контроля
P11	Ставить и решать инновационные задачи по применению необходимого оборудования для контактной сварки, проектировать сварочные процессы с принципиально новыми технологическими свойствами, конкурентоспособных на мировом рынке машиностроительного производства
<i>Профиль 3 «Технологии космического материаловедения»</i>	
P12	Ставить и решать задачи создания новых конкурентоспособных материалов для авиационной и космической техники
P13	Способность выбора метода нанесения и состава оптимального покрытия для изделий космической техники
<i>Профиль 4 «Технологии наукоемких производств в машиностроении»</i>	
P14	Способность ставить и решать задачи по разработке высокоэффективных технологий обработки материалов, подготовке технической документации
P15	Готовность применять в производстве изделий технологии нанесения наноструктурных многокомпонентных покрытий со специальными свойствами

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**
 Направление подготовки **15.04.01 Машиностроение**
 Отделение **электронной инженерии**

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП

_____ А.С. Киселев
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
1BM71	Дворникову Евгению Вячеславовичу

Тема работы:

Повышение эффективности процесса сварки разностенных конструкций из сплавов Al за счёт применения импульсного режима	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	Приказ 3645/с от 13.05.2019

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2019
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования является сварка разностенных конструкций из сплавов Al за счет применения импульсного режима Режим работы периодический Материал: сплавы на основе Al Влияние на окружающую среду минимальное
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Литературный обзор состояния разработок по сварке сплавов алюминия Разработка модели дуги переменного тока в динамическом режиме Разработка процесса сварки сплавов на основе алюминия в импульсном режиме Разработка экспериментальной установки Экспериментальная часть Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение. Социальная ответственность. Заключение

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Особенности сварки сплавов на основе алюминия Модель процесса сварки на переменном токе в импульсном режиме Экспериментальная установка Электрическая схема импульсной системы Эпюры токов и напряжений Результаты технологической проверки процесса сварки
---	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Литературный обзор; Объекты и методы исследования; Экспериментальная часть; Заключение.	Князьков Анатолий Федорович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.	Фадеева Вера Николаевна
Социальная ответственность	Дашковский Анатолий Григорьевич
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Литературный обзор	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12.10.2018
--	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Князьков Анатолий Федорович	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ71	Дворников Евгений Вячеславович		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа **неразрушающего контроля и безопасности**

Направление подготовки **15.04.01 Машиностроение**

Уровень образования **магистратура**

Отделение **электронной инженерии**

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2018 /2019 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	06.06.2019
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
13.02	Составление и утверждение темы проекта	5
19.02	Анализ актуальности темы	6
22.02	Поиск и изучение материала по теме	9
05.03	Календарное планирование работ	5
07.03	Изучение литературы по теме	9
17.03	Подбор нормативных документов	8
25.03	Разработка модели дуги переменного тока в динамическом режиме	12
6.04	Разработка процесса сварки сплавов на основе алюминия в импульсном режиме	15
23.04	Экспериментальная часть	14
30.04	Изучение результатов	7
12.05	Анализ результатов	6
13.06	Заключение	4

СОСТАВИЛ:**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Князьков А.Ф.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	А.С. Киселев	К.Т.Н.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1BM71	Дворникову Евгению Вячеславовичу

Школа	Неразрушающего контроля и безопасности	Отделение школы	Электронной инженерии
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость применяемого оборудования для проведения сварочных работ, тарифные ставки рабочих, стоимость электроэнергии
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	В соответствии с ГОСТ 14.322-83 «Нормирование расхода материалов» и ГОСТ Р 51541-99 «Энергосбережение. Энергетическая эффективность»
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Отчисления по страховым взносам – 30% от ФОТ

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Обосновать выбор приобретаемого оборудования и материалов
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Привести затраты на приобретение оборудования и материалов
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	Рассчитать трудозатраты, энергозатраты, затраты на материалы, эксплуатацию оборудования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

--

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фадеева В.Н.	к.ф.н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1BM71	Дворников Е.В.		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1BM71	Дворников Евгений Вячеславович

Школа	ИШНКБ	Отделение школы (НОЦ)	ОЭИ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Машиностроение

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса).	Помещение с искусственной вентиляцией воздуха расположено на 1 этаже. В помещении размещены источники питания для сварки; площадь помещения 20 м ² .
2. Отбор законодательных и нормативных документов по теме.	ГОСТ 12.3.003-86 Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные. Требования безопасности
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1. Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования 1.2. Обоснования мероприятий по защите исследователя от опасных и вредных факторов	- Шум на рабочем месте. - Микроклимат помещения. - Повышенный уровень вибрации. - Освещённость рабочей зоны. - Наличие открытых токопроводящих элементов, находящихся под напряжением. - Повышенная температура поверхностей оборудования.
2. Экологическая безопасность 2.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду	Воздействие на окружающую среду сводится к минимуму, за счет отсутствия загрязняющих веществ.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях 3.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте 3.2 Обоснования мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действий в случае ЧС	Пожар является возможной причиной чрезвычайной ситуации. Одной из причин возникновения пожара является короткое замыкание, а также наличие разбрызгивания расплавленного металла при проведении сварочных работ.
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности и социальной защиты работников на предприятии	- Правовые нормы трудового законодательства; - Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. - Социальная защита работников.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Дашковский А.Г.	К.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1BM71	Дворников Е. В.		

Реферат

Выпускная квалификационная работа 135 страниц, 33 рисунка, 32 таблицы, 21 формула, 23 источника, 1 приложение.

Ключевые слова: магналий, импульсный ток, динамический режим, катод, анод, электрод, аргон.

Объектом исследования является процесс сварки неплавящимся электродом на переменном токе, динамической дугой в импульсном режиме.

Предметом исследования является процесс сварки разнотолщинных деталей из сплавов алюминия, переменным током, динамической дугой в импульсном режиме.

Цель работы – сварка разнотолщинных деталей динамической дугой в импульсном режиме в связи с необходимостью уменьшения вероятности прожога и деформации более тонкой детали, за счет концентрированного ввода тепла.

В процессе исследования проводили сварку пластин, из сплава алюминия и магния (АМг6) с разницей толщин не менее чем вдвое (толщиной 4 и 2 мм), динамической дугой в импульсном режиме. Выполнены два типа соединения: стыковое и угловое.

В результате проведенного исследования зафиксированы осциллограммы тока и напряжения на прямой и обратной полярности, подобраны параметры сварки, установлено, что при сварке динамической дугой в импульсном режиме, уменьшены пластические деформации и перегрев металла.

Область применения: машиностроительная, химическая, а так же иные, где применяется сварка разнотолщинных конструкций из сплавов на основе алюминия и не допускаются большие пластические деформации, перегревы и прожоги.

Экономическая эффективность: повышение производительности сварочных работ путем обеспечения меньшего нагрева деталей, в особенности более тонкой, исключение необходимости рихтования менее толстостенных

деталей, а так же уменьшение времени технологических перерывов на остывание деталей.

Abstract

Final qualifying work: 123 pages, 33 drawing, 32 tables, 21 formulas, 23 source, 1 attachment.

Keywords: magnalium, pulsed current, dynamic mode, cathode, anode, electrode, argon.

The object of research is the process of welding with non-consumable electrode on alternating current, a dynamic arc in a pulsed mode.

The subject of research is the process of welding differently thick parts of aluminum alloys, alternating current, dynamic arc in a pulsed mode.

The purpose of the work is welding of different-thickness parts with a dynamic arc in a pulsed mode due to the need to reduce the likelihood of burn-through and deformation of a thinner part, due to the concentrated heat input.

In the course of the study, the plates were welded from an alloy of aluminum and magnesium (AMg6) with a thickness difference not less than twice (4 and 2 mm thick), with a dynamic arc in a pulsed mode. Two types of connections are made: butt and angular.

As a result of the study, oscillograms of current and voltage were recorded on the forward and reverse polarity, welding parameters were selected, it was found that when welding with a dynamic arc in a pulsed mode, plastic deformations and metal overheating were reduced.

Scope: machine-building, chemical, as well as others, where welding of differential structures from alloys based on aluminum is used and large plastic deformations, overheating and burn-through are not allowed.

Cost-effectiveness: improving the performance of welding by providing less heating of parts, especially thinner ones, eliminating the need to straighten less thick-walled parts, as well as reducing the time of technological breaks for cooling parts.

Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

1. ГОСТ 10157-2016 Аргон газообразный и жидкий. Технические условия.
2. РД 34.15.132-96 Сварка и контроль качества сварных соединений металлоконструкций зданий при сооружении промышленных объектов.
3. ГОСТ 12.3.003-86 Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные. Требования безопасности.
4. ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
5. СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
6. ГОСТ 12.1.035-81 Система стандартов безопасности труда. Оборудование для дуговой и контактной электросварки. Допустимые уровни шума и методы измерений
7. СНиП 23-05-2010 Естественное и искусственное освещение.
8. ГОСТ 12.1.019–2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
9. ГОСТ Р 56164-2014 Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов при сварочных работах на основе удельных показателей.

В настоящей работе использованы ссылки на следующие сокращения:

- σ_b – предел кратковременной прочности, МПа;
 σ_t – предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации), МПа;
 δ_5 - относительное удлинение при разрыве, %;
 T – температура, °C;
 E – модуль упругости первого рода, МПа;
 α – коэффициент температурного (линейного) расширения, 1/Град;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м*град);
 ρ – плотность материала, кг/м³;
 C – удельная теплоемкость материала, Дж/(кг*град);
 R – удельное электросопротивление, Ом*м;
 $U_{и}$ – напряжение источника питания дуги, В;
 $U_{д}$ – напряжение дуги, В;
 $I_{д}$ – ток дуги, А;
 $I_{п}$ – постоянная составляющая тока дуги, А;
 t_1 – время протекания тока импульса, сек;
 t_2 – время протекания паузы, сек;
 A_1 – амплитуда тока положительной полярности во время паузы
 A_2 – амплитуда тока отрицательной полярности во время паузы
 A_3 – амплитуда тока положительной полярности во время импульса
 A_4 – амплитуда тока отрицательной полярности во время импульса
 AMP_{puls} – ток импульса, А;
 AMP_{pause} – ток паузы, А;
 t_{pause} – длительность сварочного импульса, сек;
 t_{puls} – длительность паузы между импульсами, сек.
TIG – сварка неплавящимся, вольфрамовым электродом в среде инертных газов;
DCEN – отрицательный электрод постоянного тока
DCEP – положительный электрод постоянного тока
AC – переменный ток
DC – постоянный ток
EN – прямая полярность
EP – обратная полярность
DC MIG - полуавтоматическая сварка электродной проволокой в среде защитного газа, постоянным током
MMA – ручная дуговая сварка штучными электродами с покрытием

Содержание

	С.
Введение.....	18
1 Литературный обзор.....	20
1.1 Специфика сварки.....	20
1.1.1 Теплопроводность.....	20
1.1.2 Наличие окисной пленки.....	20
1.1.3 Выпрямляющее действие дуги.....	22
1.1.4 Затруднение зажигания дуги.....	23
1.1.5 Влияние водорода.....	26
1.2 Способ сварки.....	28
1.2.1 На переменном токе.....	28
1.2.2 Вольфрамовый электрод для сварки алюминия.....	30
2 Разработка модели дуги переменного тока в динамическом режиме.....	32
2.1 Осциллограммы тока и напряжения.....	32
2.2 Активные пятна.....	34
2.2.1 Анод.....	34
2.2.2 Катод.....	37
2.3 Столб дуги.....	41
2.3.1 Процессы ионизации и деионизации.....	42
2.3.2 Плазменные потоки.....	44
2.3.3 Инерционность столба дуги.....	45
2.4 Описание модели дуги переменного тока в динамическом режиме.....	45
3 Разработка экспериментальной установки.....	51
3.1 Функциональная схема устройства.....	52
3.2 Принципиальная схема устройства для формирования импульсов сварочного тока.....	53
3.3 Схема управления сварочным циклом.....	55

4	Разработка процесса сварки сплавов на основе алюминия динамической дугой в импульсном режиме, разностенных деталей.....	59
4.1	Специфика сварки разностенных деталей.....	59
4.2	Подготовительные операции.....	60
4.3	Процесс сварки.....	60
4.4	Контроль качества.....	67
5	Экспериментальная часть.....	68
6	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	73
6.1	Предпроектный анализ.....	73
6.1.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	73
6.1.2	Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	74
6.1.3	FAST – анализ.....	76
6.1.4	SWOT-анализ.....	81
6.1.5	Оценка готовности проекта к коммерциализации.....	84
6.1.6	Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	86
6.2	Инициация проекта.....	86
6.3	Планирование управления проектом.....	89
6.3.1	План проекта.....	89
6.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	90
6.4	Бюджет научного исследования.....	93
6.4.1	Расчет материальных затрат НТИ.....	93
6.4.2	Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ.....	94
6.4.3	Расчет фонда заработной платы.....	95
6.4.4	Расчет дополнительной заработной платы.....	97
6.4.5	Расчет отчислений во внебюджетные фонды.....	98
6.4.6	Расчет накладных расходов.....	98

6.4.7	Формирование бюджета затрат НТИ.....	99
6.5	Определение ресурсной финансовой и бюджетной эффективности исследования.....	99
7	Социальная ответственность.....	102
7.1	Производственная безопасность.....	102
7.1.1	Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования.....	103
7.1.2	Расчет искусственного освещения.....	109
7.2	Экологическая безопасность.....	112
7.2.1	Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду.....	112
7.3	Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	114
7.3.1	Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования.....	114
7.3.2	Обоснования мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС.....	114
7.4	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	116
7.4.1	Специальные правовые нормы трудового законодательства....	116
7.4.2	Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.....	117
7.4.3	Социальная защита работников на предприятии.....	119
	Заключение.....	121
	Список использованных источников.....	122
	Приложение А.....	124

Введение

Повышение эффективности и улучшение качества производимых металлоконструкций из сплавов на основе алюминия является актуальной задачей на сегодняшний день. Наличие окисной пленки на поверхности изделий из алюминиевых сплавов требует применения переменного тока, чтобы в период обратной полярности переменного тока производить распыление окисной пленки, так называемое катодное распыление. При сварке конструкций из деталей разных толщин ситуация усложняется особенностями сплавов алюминия. К таким особенностям относятся не только наличие окисной пленки, но и высокая теплопроводность материала изделия и наличие постоянной составляющей в переменном сварочном токе, что может привести к выходу из строя сварочного трансформатора.

Несмотря на хорошие показатели процесса сварки, неплавящимся электродом в аргоне переменным током, концентрация теплового потока в изделии недостаточна, что приводит к перегреву и прожогу более тонкой детали. Необходимы мероприятия повышения этого процесса сварки, которые позволят вводить тепло более концентрированно и снизить зону разогрева изделия. Это можно осуществить путем использования динамической дуги горячей в импульсном режиме, между импульсами которой горит дежурная дуга. При этом импульс сварочного тока состоит из переменного прямоугольного тока. Цель работы – сварка разнотолщинных деталей динамической дугой в импульсном режиме в связи с необходимостью уменьшения вероятности прожога и деформации более тонкой детали, за счет концентрированного ввода тепла.

Объектом исследования является процесс сварки неплавящимся электродом на переменном токе, динамической дугой в импульсном режиме.

Предметом исследования является процесс сварки разнотолщинных деталей из сплавов алюминия, переменным током, динамической дугой в импульсном режиме.

Цель работы – сварка разнотолщинных деталей динамической дугой в импульсном режиме в связи с необходимостью уменьшения вероятности прожога и деформации более тонкой детали, за счет концентрированного ввода тепла.

Материалы данной выпускной квалификационной работой приняты для рассмотрения на предмет практического применения в производственных условиях.

1 Литературный обзор

1.1 Специфика сварки

1.1.1 Теплопроводность

Алюминий и его сплавы имеют большую теплопроводность, теплоемкость и скрытую теплоту плавления. Теплопроводность алюминия в три раза выше теплопроводности низкоуглеродистой стали; при нагреве от 20 до 600°С разность в теплопроводности еще более возрастает.

Высокие теплопроводность и теплоемкость алюминия требуют применения мощных источников тепла, а в ряде случаев подогрева. Высокий коэффициент линейного расширения и малый модуль упругости способствуют появлению значительных сварочных деформаций, что требует применения надежных зажимных приспособлений и устранения деформаций после сварки в ответственных конструкциях. В алюминии отсутствует пластическое состояние при нагреве и переходе из твердого в жидкое состояние, при этом алюминий не меняет своего цвета, а в области температур более 400—450 °С имеется провал прочности и пластичности, поэтому рекомендуется сварка на подкладках.

Высокий коэффициент вязкости и быстрый теплоотвод затрудняют формирование шва, поэтому требуется соблюдение необходимых разделок кромок. Все перечисленные трудности и особенности сварки алюминия требуют тщательной подготовки под сварку и тщательное соблюдение технологии сварки.

1.1.2 Наличие окисной пленки

Низкая удельная плотность (2,7 г/см³) и температура плавления (660° С) алюминия по сравнению с высокой удельной плотностью окисла алюминия Al_2O_3 (3,85 г/см³) и его температурой плавления (2060° С) затрудняют процесс сварки. Тугоплавкий и тяжелый окисел Al_2O_3 может оставаться в металле шва и снижать работоспособность сварного соединения. При сварке алюминия и его сплавов необходимо применять различные способы борьбы с окислом Al_2O_3 . Во

всех случаях поверхность металла изделия должна зачищаться непосредственно перед сваркой и процесс сварки должен протекать с защитой расплавленного металла от действия газов воздуха.

Используют три способа борьбы с окислом алюминия: сварка с растворителем окислов (электродные покрытия, флюсы), сварка без растворителей, но с так называемым катодным распылением, и сварка с механическим удалением окислов из сварочной ванны.

Растворителями окисла Al_2O_3 и других окислов являются галоидные соли щелочноземельных металлов (хлористый, фтористый литий и др.), которые растворяют окислы и вместе с ними поднимаются из сварочной ванны в сварочный шлак. Так как раствор обладает пониженной температурой плавления, меньшей удельной плотностью и меньшей вязкостью, чем каждый компонент в отдельности, то он выводится из металла шва в сварочный шлак.

Сущность катодного распыления состоит в том, что при дуговой сварке в аргоне на постоянном токе при обратной полярности происходит дробление окисной пленки Al_2O_3 с последующим распылением частиц окисла на поверхности сварного изделия. Тонкая окисная пленка, покрывающая сварочную ванну, разрушается под ударами тяжелых положительных ионов защитного газа аргона, образующихся при горении дуги. Так как положительный ион обладает большей массой, чем электрон, то образующийся поток ионов способен дробить окисные пленки алюминия и магния, которые создаются при сварке. При этом надо учитывать большую скорость движения ионов, позволяющую распыленным окислам через защитную газовую среду выходить из сварочной зоны.

Другие газы, обладающие низкой атомной массой (например, 4 у гелия вместо 40 у аргона), не способны дробить и распылять окислы.

Механический способ удаления окисла Al_2O_3 из сварочной ванны заключается в том, что сварщик опускает в сварочную ванну стальной прутком диаметром 3-4 мм и вынимает его с прилипшим к поверхности прутка окислом, который легко отделяется от прутка при его встряхивании и легком ударе.

Опытные рабочие, выполняющие газовую или дуговую сварку угольным электродом, часто используют этот способ, не прибегая к флюсам.

1.1.3 Выпрямляющие действие дуги

При сварке на переменном токе неплавящимся электродом, когда материалы электрода и изделия резко различаются по своим теплофизическим свойствам, обнаруживается выпрямляющее действие дуги. Оно проявляется в виде протекания в цепи переменного тока некоторой составляющей постоянного тока, нарушающей симметрию кривых напряжения и тока относительно оси абсцисс (рисунок 1). Наличие в сварочной цепи составляющей постоянного тока отрицательно сказывается на качестве сварного соединения и условиях процесса уменьшается глубина проплавления, увеличивается напряжение дуги, значительно повышается температура электрода, увеличивается его расход. Поэтому приходится применять специальные меры для подавления действия постоянной составляющей. При включении дросселя в сварочную цепь переменного тока происходит сдвиг фаз между напряжением источника питания и током, горение дуги относительно стабилизируется. При сварке плавящимся электродом, близким по составу к основному металлу, на режимах, обеспечивающих устойчивое горение дуги, выпрямляющее действие дуги незначительно и кривые тока и напряжения практически симметричны относительно оси абсцисс.

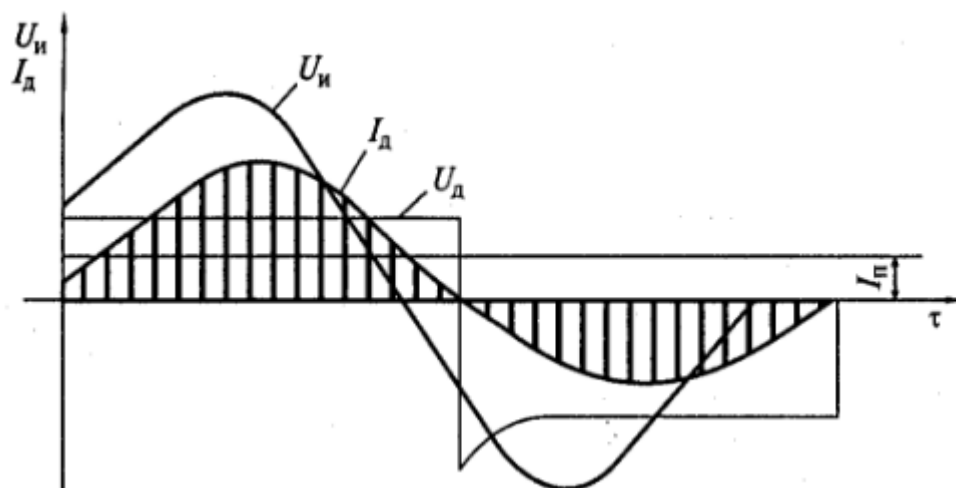


Рисунок 1 – Постоянная составляющая тока в сварочной цепи при горении дуги на переменном токе

$U_{и}$ – напряжение источника питания дуги

$U_{д}$ – напряжение дуги

$I_{п}$ – постоянная составляющая тока дуги

$I_{д}$ – ток дуги

τ – время

При сварке на постоянном токе зажигание и горение дуги протекают несколько лучше, чем при сварке на переменном токе. Тем не менее для повышения стабильности горения дуги дроссели включают и в сварочную цепь постоянного тока.

1.1.4 Затруднение зажигания дуги при смене полярности

При питании дуги переменным током полярность электрода и изделия и условия существования дугового разряда периодически изменяются. Дуга переменного тока промышленной частоты 50 Гц гаснет при переходе тока через нуль и перемене полярности в начале и конце каждого полупериода и вновь возбуждается 100 раз в секунду, или дважды за каждый период. Устойчивость горения такой дуги зависит от того, насколько легко происходит повторное возбуждение дуги в каждом полупериоде. Это определяется ходом физических

и электрических процессов в дуговом промежутке и на электродах в отрезки времени между каждым затуханием и новым зажиганием дуги. Снижение тока сопровождается соответствующим уменьшением температуры в столбе дуги и степени ионизации дугового промежутка. Одновременно падает и температура активных пятен на аноде и катоде. Падение температуры несколько отстает по фазе при переходе тока через нуль, что связано с тепловой инерционностью процесса. Особенно интенсивно падает температура активного пятна, расположенного на поверхности сварочной ванны, в связи с интенсивным отводом теплоты в массу детали.

Вслед за затуханием дуги меняется полярность напряжения (рисунок 1.2) и направление движения заряженных частиц в дуговом промежутке. В условиях снижения температуры активных пятен и степени ионизации дугового промежутка повторное зажигание дуги в начале каждого полупериода происходит только при повышенном напряжении между электродами, именуемом пиком зажигания или напряжением повторного зажигания дуги. Пик зажигания всегда выше напряжения дуги, соответствующего стабильному режиму ее горения. При этом величина пика зажигания несколько выше в тех случаях, когда катодное пятно находится на основном металле.

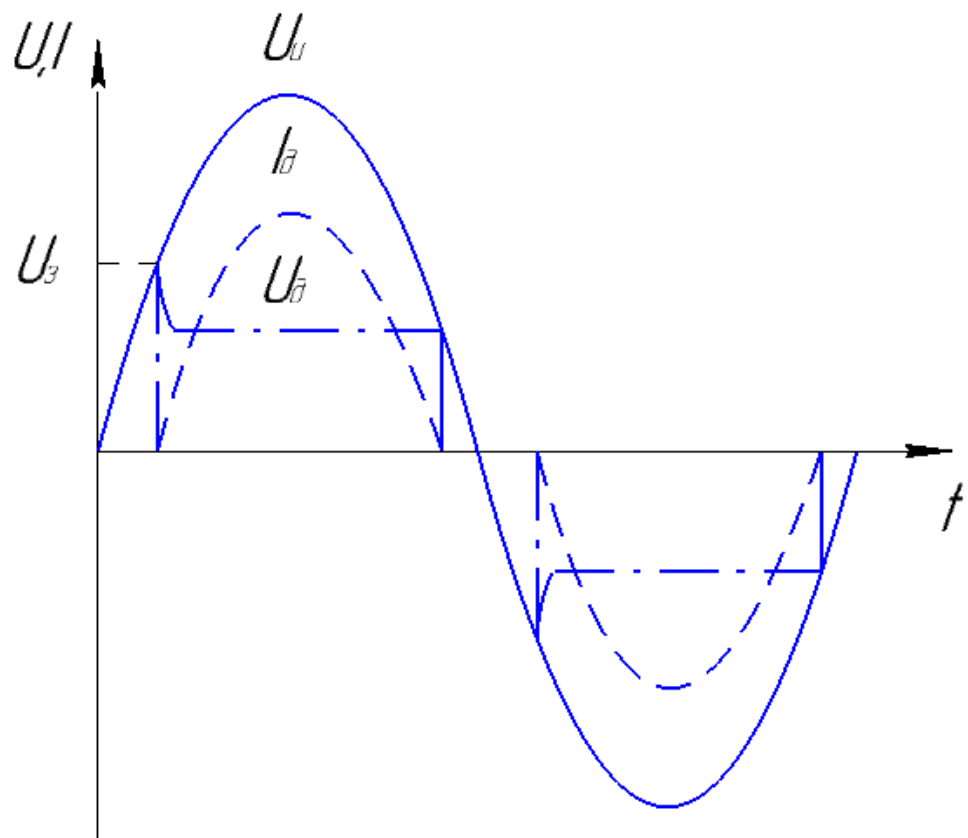


Рисунок 2 – Кривые тока, напряжения дуги и напряжения источника в цепи с активным сопротивлением (имеются перерывы в протекании сварочного тока).

$U_{и}$ – напряжение источника питания дуги

$U_{д}$ – напряжение дуги

$U_{з}$ – напряжение замыкания

$I_{д}$ – ток дуги

t – время

Величина пика зажигания существенно влияет на устойчивость горения дуги переменного тока. Деионизация и охлаждение дугового промежутка возрастают с увеличением длины дуги, что приводит к необходимости дополнительного повышения пика зажигания. Обрыв дуги переменного тока при прочих равных условиях всегда происходят при меньшей длине дуги, чем при сварке на постоянном токе. При наличии в дуговом промежутке паров легкоионизирующихся элементов напряжение повторного зажигания снижается и устойчивость горения дуги переменного тока повышается.

С увеличением силы тока физические условия горения дуги улучшаются, что также приводит к снижению пика зажигания и повышению устойчивости дугового разряда. Таким образом, величина пика зажигания — важная характеристика дуги переменного тока, оказывающая существенное влияние на ее устойчивость. Чем хуже условия для повторного возбуждения дуги, тем выше должно быть напряжение холостого хода источника питания дуги и выше пик зажигания. Однако увеличение амплитудных значений синусоиды напряжения ограничивается правилами техники безопасности, по которым максимальное эффективное значение напряжения источника переменного тока для питания сварочных постов допускается не выше 80 В.

Общепринятая мера стабилизации сварочной дуги переменного тока — включение в сварочные цепи переменного тока дросселей, что позволяет поддерживать стабильность дуги и регулировать сварочный ток изменением индуктивного сопротивления.

1.1.5 Влияние водорода

Водород, в отличие от других газов, обладает способностью растворяться в алюминии и при определенных условиях образовывать поры в металле швов. Растворимость водорода в алюминии изменяется при различных температурах. Концентрация растворенного в металле водорода [Н] зависит от давления молекулярного водорода, находящегося с ним в равновесии.

В реальных условиях парциальное давление молекулярного водорода в газовой фазе дуги ничтожно мало. Поэтому основным источником водорода, растворяющегося в сварочной ванне, является реакция взаимодействия влаги, содержащейся в окисной пленке с металлом. В результате протекания этой реакции концентрация атомарного водорода в поверхностном слое атмосферы, контактирующей с металлом, может соответствовать большому давлению молекулярного водорода, находящегося в равновесии с металлом. Поэтому при наличии паров воды в зоне ванны концентрация растворенного в металле водорода может оказаться намного больше равновесной. При охлаждении

растворенный водород в связи с понижением растворимости стремится выделиться из металла. Пузыри выделяющегося водорода, не успевая всплыть из ванны, остаются в шве, образуя поры. Поэтому основной мерой борьбы с пористостью при сварке алюминия является снижение концентрации растворенного в нем водорода до предела ниже $0,69—0,7 \text{ см}^3/100 \text{ г}$ металла. Основным источником водорода, растворяющегося в металле шва при аргонодуговой сварке, является влага, адсорбированная поверхностью металла и входящая в состав окисной пленки в виде гидратированных окислов. Количество ее определяется состоянием поверхности металла и зависит от обработки его перед сваркой.

Предупреждению пористости при сварке алюминия может способствовать сокращение удельной поверхности присадочной проволоки за счет увеличения ее диаметра и уменьшения доли участия присадочного металла в образовании шва. Рациональную обработку поверхности проволоки и основного металла применяют с целью уменьшения толщины окисной пленки и запаса имеющейся в ней влаги. Магний увеличивает растворимость водорода в алюминии, поэтому повышенная склонность к пористости при сварке алюминиево-магниевого сплава объясняется другим механизмом образования пор. На поверхности сплавов, содержащих магний, присутствует окисная пленка, состоящая из окислов Al_2O_3 и MgO . Такая пленка имеет большую толщину, меньшую плотность из-за дефектов ее строения и больший запас влаги, чем пленка из Al_2O_3 . В процессе сварки при расплавлении основного и присадочного металлов часть влаги, содержащейся во внутренних дефектах пленки, не успевает прореагировать. Попадающие в ванну частицы пленки содержат остатки влаги, которая разлагается с выделением водорода. Образовавшийся водород в дефектах пленки переходит в молекулярную форму и затем выделяется в жидком металле ванны в виде пузырьков, минуя стадию растворения. При таком механизме образования пор в качестве мер уменьшения пористости, кроме обычных, связанных с применением рациональной обработки поверхности проволоки и основного металла, а также

сокращения удельной поверхности проволоки, участвующей в образовании шва, эффективной мерой борьбы с пористостью становится ужесточение режимов. Однако при ужесточении режимов возникает опасность увеличения давления водорода в несплошностях, что затрудняет выполнение многослойных швов и подварку.

1.2 Способы сварки

1.2.1 На переменном токе

Важным аспектом характеристик алюминия является его коррозионная стойкость, гарантированная микроскопическим слоем оксида алюминия, который формируется на поверхности и который при разрушении быстро перемещается в многочисленные места. С другой стороны, слой подобного защитного оксида представляет главную трудность при дуговой сварке алюминия и его сплавов, потому что он имеет очень высокую температуру плавления (около $2,060^{\circ}\text{C}$), тогда как температура плавления металла ниже (около 660°C). В дополнение к высокой теплопроводности алюминия данный фактор предотвращает характерное плавление оксидного слоя, несмотря на то, что температуры сварки выше. В результате расплавленный алюминий или алюминиевый сплав под остающимся оксидным слоем не может быть сварен с помощью TIG при изменяющейся полярности вольфрамовым электродом с отрицательным полюсом (DCEN).

Поверхность оксидов на алюминиевых сплавах может перемещаться при помощи прямого тока и вольфрамового электрода, подсоединенного к положительному полюсу (DCEP) (Механизм перемещения оксида широко известен как катодная очистка.). Однако данный метод не широко используется из-за нестабильности дуги и износа вольфрамового электрода. Поэтому используется промежуточное условие, то есть использование переменного тока (AC), посредством чего происходит катодная очистка при обратном полупериоде AC сварочной волны.

При сварке АС в механизме эмиссии электрона имеется изменение при такой же частоте, при которой происходит смена полярности. При прямой полярности (EN) катод достигает достаточно высокой температуры для выхода электрона. Это происходит только для электродов, состоящих из материалов с высокой точкой кипения (выше 4,000 К), таких как вольфрам. При фазе, в которой катодом является заготовка (EP), эмиссия электронов не может происходить из-за термического воздействия, по причине его низкой температуры плавления, а происходит эмиссия под действием электрического поля в микроскопической зоне поверхности катода (автоэлектронная эмиссия). Катодное пятно, где происходит эмиссия, первоначально была расположена на наконечнике электрода, а сейчас перемещается на края ванны расплавленного металла, пытаясь найти точки выхода электронов (рисунок 1.3). Катодное пятно занимает намного меньше места при обратном полупериоде (A1). Таким образом, для получения тока, плотность энергии, содержащейся в A2, намного больше, чем в A1, в результате расплавления (испарения) оксидного слоя.

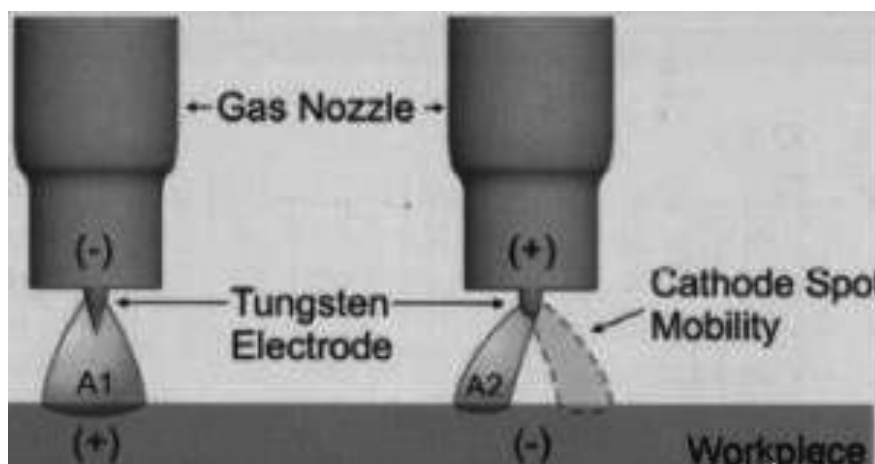


Рисунок 3 - Зона воздействия плазменной дуги на поверхность заготовки при прямой полярности (A1) и передвигающаяся зона действия плазменной дуги на поверхность заготовки при обратной полярности (A2).

1.2.2 Вольфрамовый электрод для сварки алюминия

Вольфрамовые электроды используются при аргонодуговой сварке, то есть сварке неплавящимся электродом в среде защитного газа аргона.

Температура плавления вольфрама – 3410 °С, температура кипения – 5900 °С. Это самый тугоплавкий из существующих металлов. Вольфрам сохраняет твердость даже при очень высоких температурах. Это позволяет делать из него неплавящиеся электроды. В природе вольфрам встречается, в основном, в виде окисленных соединений — вольфрамита и шеелита.

При аргонодуговой сварке дуга горит между свариваемой деталью и вольфрамовым электродом. Электрод находится внутри сварочной горелки. Для сварки в среде защитных газов обычно применяют постоянный ток прямой полярности. Иногда используется ток обратной полярности или переменный ток. В таких случаях целесообразно использовать вольфрамовые электроды с легирующими добавками, которые повышают стабильность и устойчивость сварочной дуги.

Для улучшения качества электрода (например, устойчивости к высоким температурам, повышения стабильности горения дуги) в чистый вольфрам вводят в качестве добавки окислы редкоземельных металлов. Существует ряд разновидностей вольфрамовых электродов, в зависимости от содержания этих добавок. Этим определяется марка электрода. Марка электрода определяется по цвету, в который окрашен один конец. Вольфрамовые электроды делятся на три типа: Постоянного (WT, WY), Переменного (WP, WZ) и Универсальные (WL, WC).

Для сварки на переменном токе применяются следующие вольфрамовые электроды:

- WP (зеленый) — Электрод из чистого вольфрама (содержание не менее 99,5%). Электроды обеспечивают хорошую устойчивость дуги при сварке на переменном токе, сбалансированном или не сбалансированном с непрерывной высокочастотной стабилизацией (с осциллятором). Эти электроды предпочтительны для сварки на переменном синусоидальном токе алюминия,

магния и их сплавов, так как они обеспечивают хорошую устойчивость дуги как в аргоновой, так и в гелиевой среде. Из-за ограниченной тепловой нагрузки рабочий конец электрода из чистого вольфрама формируют в виде шарика. Отечественный аналог – ЭВЧ.

– WZ-8 (белый) — Электроды с добавлением оксида циркония предпочтительны для сварки на переменном токе, когда не допускается даже минимальное загрязнение сварочной ванны. Электроды дают чрезвычайно стабильную дугу. Допустимая токовая нагрузка на электрод несколько выше, чем на цериевые, лантановые и ториевые электроды. Рабочий конец электрода при сварке на переменном токе обрабатывается в форме сферы. Отечественные аналоги – ВЛ, ЭВЛ-2.

Каждый из представленных выше электродов предназначен для сварки алюминия, магния и их сплавов, электроды WZ-8 так же предназначены и для сварки бронзы, никеля и их сплавов.

Отечественные аналоги- ЭВЧ, ЭВЛ, ЭВЛ-2, ВТ-15, ЭВИ-1.

Так как, стабильность горения дуги выше у электродов с содержанием оксида циркония, то необходимо применять электроды WZ-8 с белой маркировкой.

2 Разработка модели дуги переменного тока в динамическом режиме

Сварка сплавов на основе алюминия производится на переменном токе. При сварке на обратной полярности происходит распыление окисной пленки. При сварке на прямой полярности, анод на изделии, происходит интенсивное расплавление металла.

Эффективность этих процессов можно повысить двумя путями:

1. При помощи импульсно-дугового процесса
2. При помощи перевода дуги в динамический режим горения

Динамический режим горения дуги достигается при длительности импульсов менее 450...500 мкс [1] вследствие отставания перехода дуги к статическому состоянию из-за быстрого изменения значения тока и напряжения. Быстрое изменение тока приводит к возникновению динамических «всплесков» напряжения [2]. Существование «всплесков» объясняется несоответствием термической эмиссии электронов с катода текущему значению тока вследствие тепловой инерции. Недостаток термической эмиссии восполняется автоэлектронной эмиссией, что обеспечивает рост напряжения дуги. При этом наблюдается контрагирование столба дуги и уменьшение размеров анодного пятна на изделии, что увеличивает глубину проплавления [1].

2.1 Осциллограммы тока и напряжения

В ходе эксперимента были получены зависимости тока и напряжения дуги от времени, и динамическая вольт – амперная характеристика дуги. На представленных осциллограмме тока дуги и напряжения видно, что импульсы по форме близки к прямоугольной, скорость нарастания импульсов и их продолжительность обеспечивает динамический режим горения дуги. При быстром изменении тока недостаток термической эмиссии восполняется автоэлектронной, что в свою очередь приводит к увеличению напряжения.

Ввиду большей концентрации теплового потока при сварке дугой горячей в динамическом режиме требуется среднее значение тока меньшее на 30 - 40 %, чем при сварке в непрерывном режиме при сохранении высокой устойчивости физического горения дуги и сохранении высокой технологической устойчивости процесса сварки.

Осциллограммы снимались с двухлучевого осциллографа С8-17

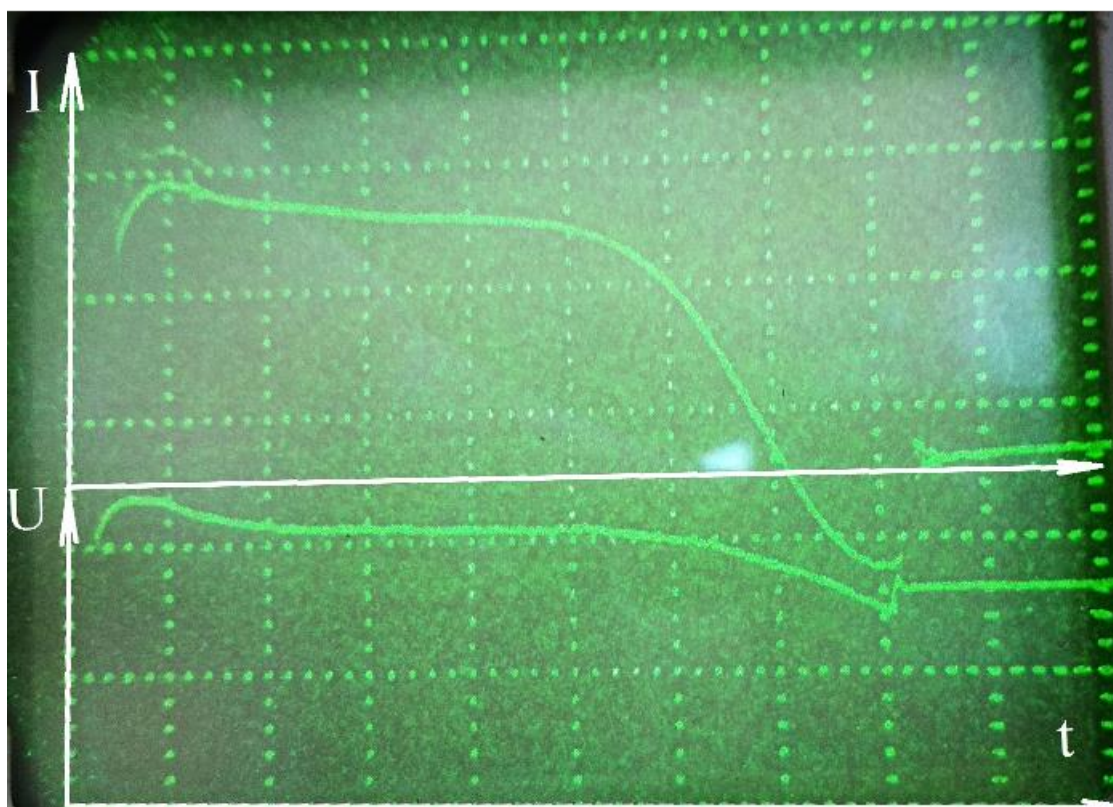


Рисунок 4 – Осциллограмма тока и напряжения при обратной полярности

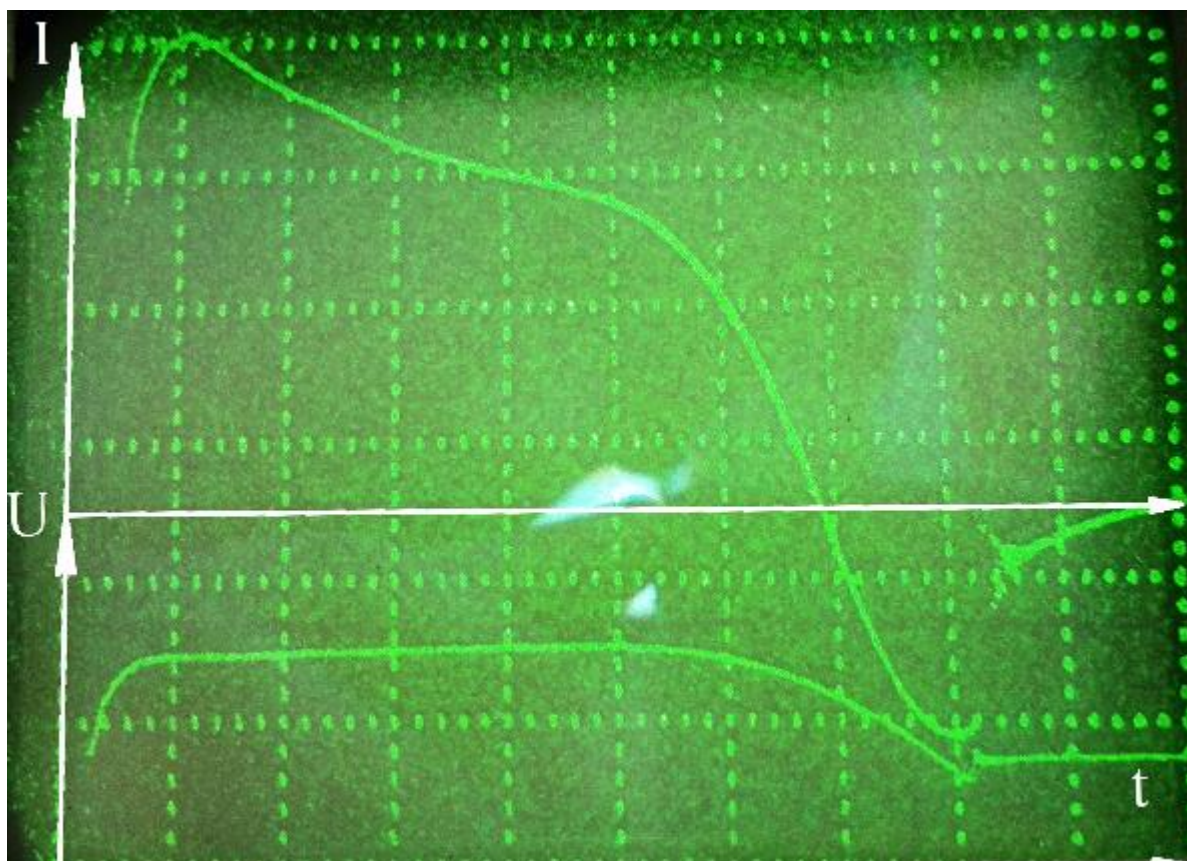


Рисунок 5 – Осциллограмма тока и напряжения при прямой полярности

Шунт 75 мВ, 100А

В каждой клетке по горизонтали 20 мкс

В каждой клетке 200 мВ, 5В

Верхний луч – ток

Нижний луч – напряжение

2.2 Активные пятна

2.2.1 Анод

Анодным процессам в сварочной дуге свойственны некоторые особенности: контракция дуги у анода выражена слабее, чем у катода; анодные активные пятна дуги обладают меньшей подвижностью, чем катодные; в некоторых случаях наблюдается не хаотичное, а направленное скачкообразное движение анодных пятен; вольт-амперная характеристика анодного падения напряжения

ниже катодного и его значение в зависимости от условий горения дуги изменяется в весьма узких пределах; на процессы в однородной области большое влияние оказывают потоки плазмы с катода, направленные на анод, а также собственный поток плазмы.

Анодная область дуги состоит из четырех зон: зоны, граничащей со столбом дуги; переходной зоны; ускоряющей зоны и зоны ионизации. Эти зоны имеют существенное различие, обусловленное поведением в них ионов и электронов.

В зоне, граничащей со столбом дуги, напряжённость электрического поля возрастает в направлении к аноду от низкого значения, соответствующего градиенту потенциала в столбе дуги. В этой области начинается переход от характерного для столба дуги дрейфа электронов к их движению под действием поля.

Как в переходной, так и в ускоряющей зоне электроны ускоряются электрическим полем и в конце этой зоны приобретают энергию, достаточную для ионизации. В зоне ионизации происходит образование ионов и электронов в результате ионизации полем. Образовавшиеся ионы начинают двигаться к столбу дуги. Ускоряющую зону ионы проходят в свободном движении, а в переходной зоне испытывают столкновения с нейтральными частицами. При этом упорядоченное движение переходит в неупорядоченное тепловое движение, соответствующее температуре плазмы столба дуги[3].

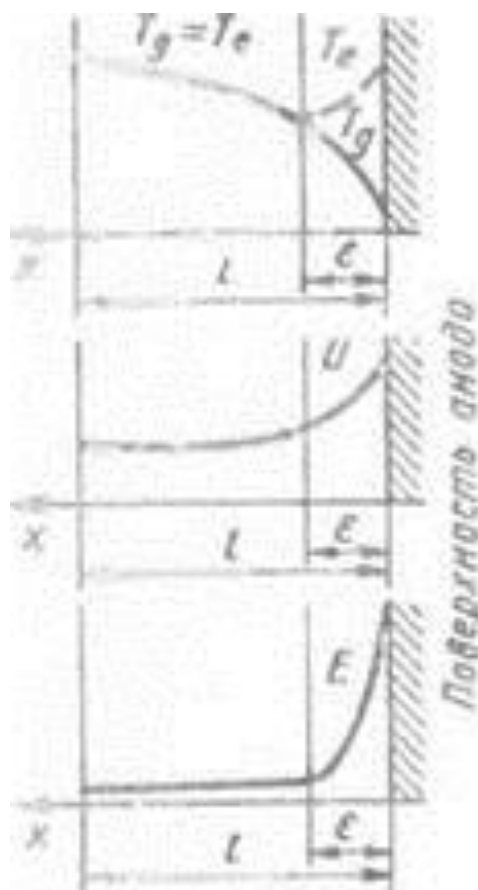


Рисунок 6 – Поверхность анода

Если на прилегающем к области анодного падения участке плазмы температура на протяжении одной или нескольких длин свободного пробега вырастает или падает, то этот участок целесообразно относить к области анодного падения, а не к столбу. Учитывая это, можно сказать, что в области анодного падения должны осуществляться три процесса. Во-первых, здесь должны образовываться ионы, диффундирующие через столб в направлении к катоду. Во-вторых, в этой области энергия направленного движения ионов, ускоренных анодным падением потенциала, должна перейти в энергию теплового движения. Таким образом, ионы поступают в столб с распределением скоростей, соответствующим его температуре, без заметной направленной составляющей скорости. В-третьих, в области анодного падения должен осуществляться переход от сравнительно низкой температуры анода к высокой, как правило, температуре столба.

За редким исключением анод дуги не обладает заметной способностью к эмиссии положительных ионов. Поэтому в непосредственной близости к поверхности анода электрический ток осуществляется исключительно электронами. Таким образом, здесь образуется некомпенсированный пространственный отрицательный заряд (в слоях, расположенных ближе к столбу, образование ионов приводит к частичной нейтрализации). Этот пространственный заряд обуславливает падение потенциала анода, то есть анодное падение. В области анодного падения происходит ускорение движущихся к аноду электронов и движущихся к столбу ионов, возникающих при ионизации полем или термической ионизации. Кинетическая энергия, полученная зарядами при ускорении, расходуется на компенсацию избытка потерь этой области сравнительно с нормальными идеальными потерями столба. Вследствие различия подвижности электронов и ионов примерно на каждые 1000 электронов, попадающих на анод, в области анодного падения должен образоваться лишь один ион. Поэтому энергия, идущая на ионизацию, играет в балансе энергии области анодного падения малую роль в сравнении с энергией, переносимой на анод электронными (а также, в меньшей степени, переносимый путём теплопроводности)[4].

2.2.2 Катод

В катодной области дуги существует скачок потенциала, называемый катодным падением напряжения. В этой области происходят генерации и перенос заряженных частиц между катодом и столбом дуги. Катодное падение напряжения ускоряет ионы, движущиеся к катоду, обеспечивает эмиссию электронов благодаря повышенной температуре поверхности, бомбардируемой ионами, создает у поверхности катода сильное электрическое поле, ускоряет эмитированные электроны до уровней энергии, необходимой для образования заряженных частиц в прикатодной области.

Наиболее простая модель катодной области состоит из двух слоев (рисунок 7). Слой 1, прилегающий к поверхности катода, меньше длины

свободного пробега электронов. В этом слое вследствие относительно большой (по сравнению со столбом) доли ионного тока и малой подвижности ионов возникает избыточный положительный пространственный заряд, приводящий к появлению скачка потенциала у катода. Доля ионного тока в слое 1 постоянна.

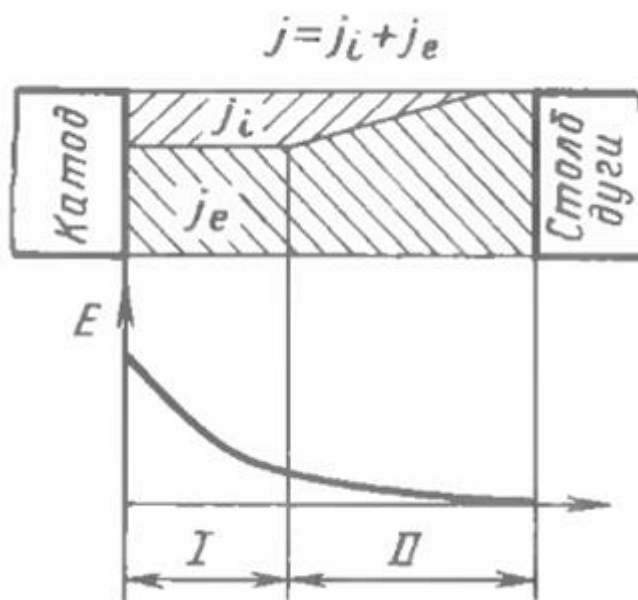


Рисунок 7 – Строение катодной области дуги

j - плотность тока

j_i – ионная составляющая плотности тока

j_e – электронная составляющая плотности тока

Слой 2 находится между первым слоем и столбом дуги и называется ионизационным. В нём, как и в столбе дуги, выполняются условие квазинейтральности и происходит генерация заряженных частиц благодаря энергии, приобретённой электронами в слое 1.

Из слоя 2 в слой 1 к катоду движутся ионы. Возможно и движение так называемых «обратных» электронов (согласно теории Г. Эккера), испытывающих в этом случае тормозящее действие электрического поля. Ионы, достигая поверхности катода, нейтрализуются электронами металла. От катода движутся эмитированные его поверхностью электроны и атомы,

образующиеся в результате интенсивного испарения. Последние снижают степень ионизации.

Электроны, наоборот, попадая в слой 2, увеличивают степень ионизации и концентрацию заряженных частиц. На границе со столбом дуги достигаются значения степени ионизации и концентрации заряженных частиц, близкие к равновесному. Доля электронного тока в слое 2 растёт, а ионного – соответственно уменьшается. Суммарный ток остаётся постоянным. Напряженность электрического поля снижается, достигая в предельном случае значения градиента потенциала в столбе дуги.

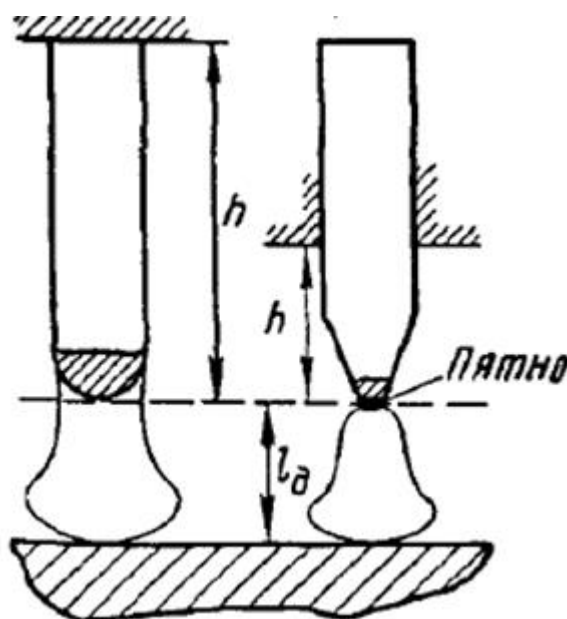


Рисунок 8 – вольфрамовые дуги без катодного пятна и с катодным пятном

В материале катода и слоях катодной зоны протекают сложные и взаимосвязанные процессы:

- нагрев катода проходящим током и теплотой поверхностью источников;
- испускание поверхностью катода атомов и электронов;
- нейтрализации ионов;
- аккомодация атомов, электронов и ионов на поверхности катода и передача ей энергии;

- образование избыточного пространственного заряда и скачка потенциала перед катодом, ускорение ионов и эмитированных электронов в зоне пространственного заряда, торможение «обратных» электронов;
- возбуждение и ионизация атомов, рекомбинация заряженных частиц;
- формирование потоков ионов и «обратных» электронов.

Все катодные процессы представляют собой цепь связанных физических явлений, протекающих одновременно в теле катода, на его поверхности и в катодной области дуги.

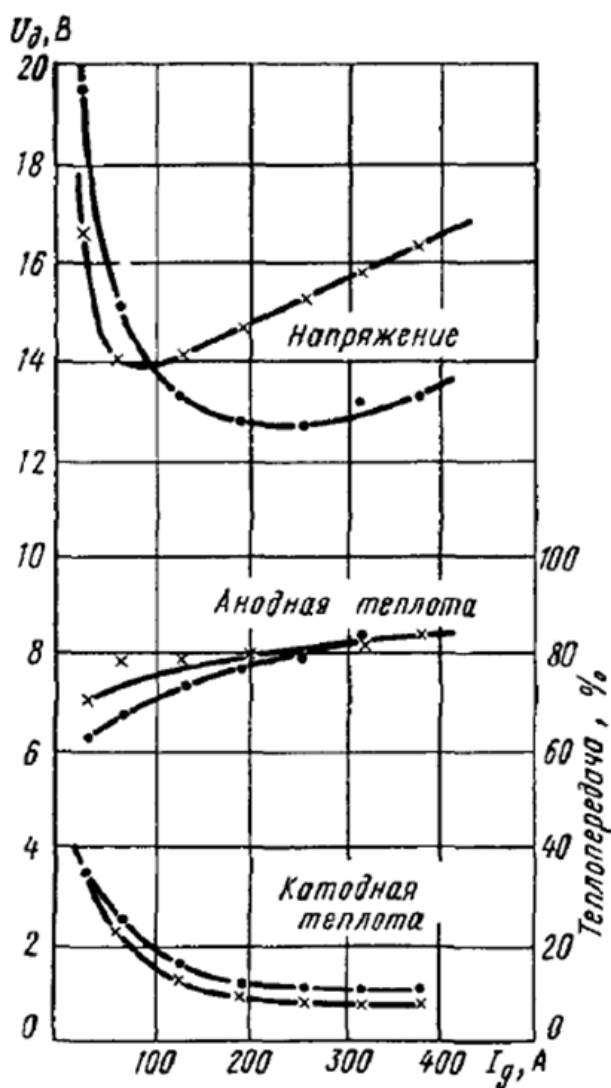


Рисунок 9 – Вольт-амперные характеристики и выделение теплоты на аноде и катоде для вольфрамовых дуг с катодным пятном (крестики) и без пятна (круги)

При малых так называемых пороговых токах катодное пятно существует в виде одиночной ячейки, которая при больших токах имеет тенденцию к делению за время от 10^{-6} до 10^{-4} с. Систематический распад ячеек с частотой порядка $10^6 \text{ с}^{-1} \cdot \text{А}^{-1}$ и деление катодного пятна являются следствием неоднородности собственного магнитного поля в районе пятна, расталкивания частей пятна полем. Это приводит к хаотическому перемещению пятна по поверхности металла.

Анализ движения пятна показал, что взаимодействие его отдельных частей происходит под влиянием их собственных магнитных полей и подчиняется принципу максимума напряженности поля. Максимум напряженности поля должен всегда соответствовать максимуму концентрации частиц, поэтому в направлении наибольшего потока энергии к катоду должно смещаться и само катодное пятно. Этим объясняется направленное (в том числе и обратное) движение пятна в магнитном поле, его деление и хаотическое перемещение по катоду. При больших токах и сложной структуре пятна оно в целом также будет перемещаться в область максимума напряженности не только собственного H_i , но и дополнительного внешнего H магнитного поля.

Собственное магнитное поле, охватывая область высоких концентраций зарядов наподобие футляра, уменьшает диффузионные потери частиц. Благодаря этому возможна высокая концентрация частиц и энергии над микроучастками (ячейками) катода, что приводит к высокой плотности тока, испарению металла и эмиссии электронов.

2.3 Столб дуги

В столбе дуги имеются три рода заряженных частиц - электроны, положительные ионы и отрицательные ионы, которые перемещаются к противоположному по знаку полюсу.

Столб дуги можно считать нейтральным, так как сумма зарядов отрицательных частиц равна сумме зарядов положительных частиц. Столб дуги характерен образованием заряженных частиц и воссоединением заряженных

частиц в нейтральные атомы (рекомбинация). Поток электронов через слой газов разрядного промежутка вызывает в основном упругие соударения с молекулами и атомами газа, вследствие чего создается весьма высокая температура. Возможна также и ионизация в результате неупругих соударений.

Температура столба дуги зависит от состава газов, величины сварочного тока (с увеличением величины тока температура повышается), типа электродных покрытий и полярности. При обратной полярности температура столба дуги выше.

2.3.1 Процессы ионизации и деионизации

Ионизацию можно рассматривать как крайний случай возбуждения, когда электрону сообщается энергия большая, чем самый высокий возбужденный уровень атома.

Энергию, которая должна быть сообщена электрону для его ионизации, часто выражают в вольтах (точнее в электрон-вольтах) и называют соответственно потенциалом ионизации — U_i .

Неупругие соударения частиц между собой при высоких температуре и плотности газа приводят к так называемой термической ионизации, которая возникает за счет кинетической энергии частиц.

После неупругого соударения оба электрона будут обладать малыми скоростями и вновь начнут ускоряться электрическим полем.

Ионизация холодной плазмы осуществляется весьма небольшим числом высокоскоростных электронов, соответствующих «хвосту» максвелловского распределения. Поэтому неупругих столкновений в сварочном столбе дуги обычно значительно меньше, чем упругих.

Энергия ионизации зависит от строения атома, т. е. от его места в периодической системе элементов. Она представляет собой периодическую функцию атомного номера элемента Z и снижается с уменьшением номера группы и увеличением номера периода таблицы Менделеева. Наименьший потенциал ионизации $U_i = 3,9$ эВ имеют пары Cs. Единственный валентный

электрон у щелочных металлов I группы слабо связан с ядром, поэтому и энергия ионизации этих металлов невелика. Наивысший потенциал U_i — 24,5 эВ наблюдается у самого легкого из инертных газов — гелия He. Оболочка благородных газов заполнена и поэтому наиболее прочна.

Деионизация. В любой точке стационарного разряда концентрация заряженных частиц любого типа определяется равенством скоростей образования и потерь частиц в этой точке. Ионизация в плазме приводит к разделению зарядов, но электрическое притяжение ограничивает степень возможного разделения и плазма остается квазинейтральной. Наряду с ионизацией непрерывно происходят уравнивающие ее процессы деионизации. К ним относятся рекомбинация заряженных частиц в нейтральные, захват электронов (прилипание), дрейф проводимости и диффузионные процессы, выравнивающие концентрацию (амбиполярная диффузия).

Деионизация дуги происходит двумя путями - путем нейтрализации заряженных частиц при воссоединении (рекомбинации) положительно и отрицательно заряженных частиц друг с другом и путем перемещения (диффузии) заряженных частиц из области горения дуги в окружающее пространство.

Процесс рекомбинации заключается в том, что при сближении электрона и положительного иона или двух ионов различных знаков они притягиваются и, сталкиваясь, нейтрализуются. При этом происходит выделение энергии.

Столкновение положительных и отрицательных частиц обусловлено их тепловым движением; причем этому способствуют электрические силы притяжения, которые действуют между разноименно заряженными частицами. С увеличением скорости движения частиц вероятность рекомбинации уменьшается.

2.3.2 Плазменные потоки

Потоки плазмы в дуге увлекают за собой окружающий газ и поэтому всегда сопровождаются газовыми потоками. При малых токах (меньше 30 А) это движение вызывается подъемной силой, возникающей в результате того, что плотность горячей плазмы меньше плотности окружающей атмосферы. Дуги, в которых характер движения газа определяется свободной конвекцией, относятся к слаботочным дугам. В связи с этим интересно отметить, что название «дуга» произошло от формы, которую принимает газовый разряд низкой интенсивности между горизонтальными электродами под влиянием подъемных сил.

При увеличении тока возникает струйное течение плазмы со скоростями, которые значительно превышают скорости, обусловленные естественной конвекцией. Течение плазмы в таких сильноточных дугах направлено обычно от стержневого катода к плоскому аноду и называется *катодной струей*. Газовый поток входит в зону W-дуги в районе катода и уходит в радиальном направлении вблизи анода (рисунок – 9).

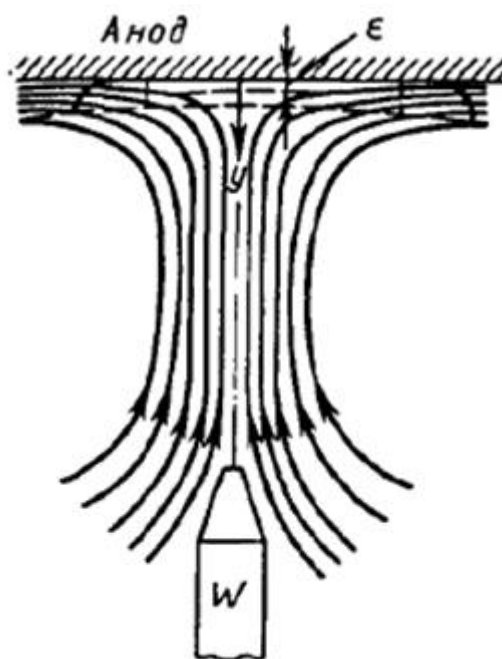


Рисунок 10 – Схема течения газа в сильноточной дуге

Давление в дуге возникает под действием электромагнитных сил (сил Лоренца). Радиальное сжатие (пинч-эффект) обратно пропорционально сечению, по которому идет ток. Следовательно, при стержневом катоде и плоском аноде оно постепенно убывает от катода к аноду.

2.3.3 Инерционность столба дуги

Наиболее значимой инерционностью обладают процессы теплообмена.

Постоянная времени при принятых допущениях равна отношению энтальпии столба к мощности потерь. При допущении о примерно неизменной температуре дуги по ее радиусу.

Отсюда следует, что интенсивность охлаждения дуги оказывает прямое воздействие на ее инерционность.

В квазистационарном режиме горения дуги ее температура меняется по закону, близкому к синусоиде с двойной частотой и постоянной составляющей, значение которой определяется активной мощностью дуги.

Из-за инерционности дуги кривые мгновенных значений мощности и температуры сдвинуты во времени, и этот сдвиг растет при увеличении постоянной времени дуги. При этом степень колебательности температуры снижается, а устойчивость горения дуги повышается. Это определяет закономерный характер изменения особенностей горения дуги в различные периоды плавки.

2.4 Описание модели дуги переменного тока в динамическом режиме

При разработке феноменологической модели возможно два варианта полярности дежурного тока: дежурный ток прямой полярности и дежурный ток обратной полярности. На рисунке 11 представлена эпюра переменного сварочного тока в динамическом режиме, при дежурном токе обратной полярности. За один период следования сварочного тока можно выделить следующие этапы: этап тока дежурной дуги перед импульсом сварочного тока

обратной полярности, этап импульса тока обратной полярности, этап дежурного тока перед импульсом прямой полярности, этап импульса тока прямой полярности. При переходах от дежурного тока к току импульса процессы в дуговом промежутке будут отличаться в зависимости от полярности тока импульса. С учетом этого будут рассмотрены процессы на различных этапах феноменологической модели дуги.

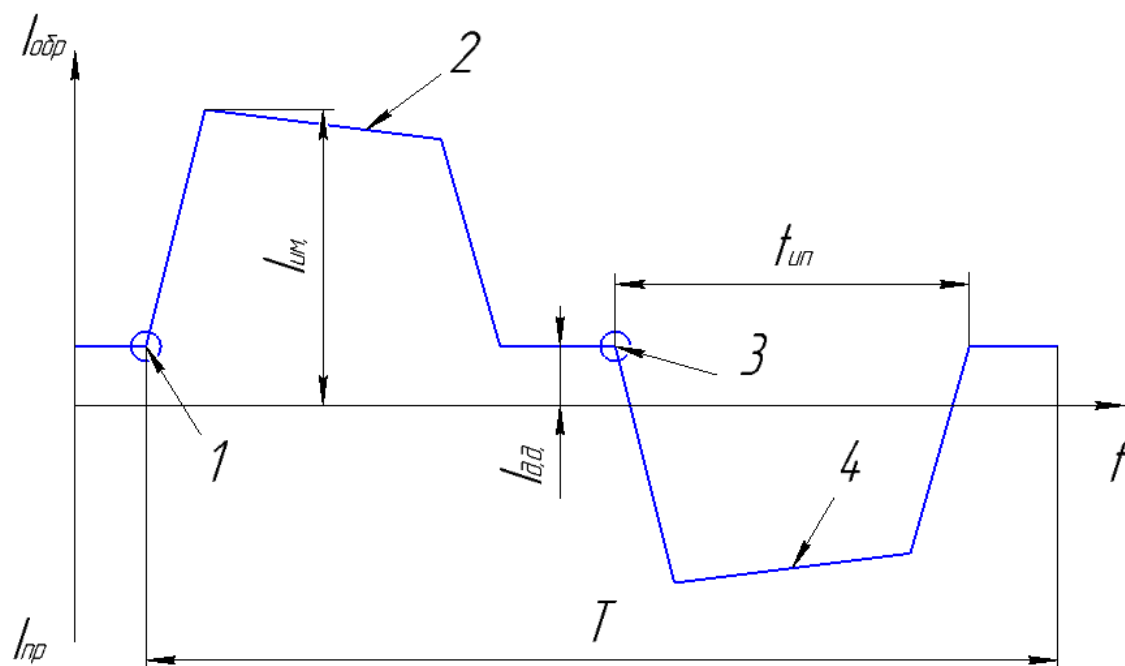


Рисунок 11 - Эпюра тока дуги в динамическом режиме при дежурном токе обратной полярности, представленные схематично

Этап тока дежурной дуги обратной полярности перед импульсом сварочного тока.

На данном участке сварочная дуга называется слаботочной, так как сила дежурного тока на обратной полярности не велика, всего 10-15 А. Катодом является изделие, анодом электрод. В данной дуге происходит свободная конвекция. Поток электронов свободно движутся на анод, а ионы на катод. На данной полярности преобладает автоэлектронная эмиссия. Поток электронов вырывается с поверхности изделия, за счет сильного электрического поля.

Этап импульса тока обратной полярности.

Изменение направление движения заряженных частиц не происходит. На данном этапе резко увеличивается величина сварочного тока, за счет применения кратковременного импульса. Время импульса около 70 мкс. Из-за увеличения тока возникает гидродинамическое течение со скоростями, значительно превышающие скорости естественной конвекции. При этом дуга изменяется от слабotoчной до сильноточной дуги. Это характеризуется тем, что появляется сильный плазменный поток направленный с анода на катод. Благодаря этому потоку энергия увеличится, но ее все равно не будет достаточно для начала процесса плавления изделия. В тоже время за счет сильного электрического поля будет происходить интенсивный процесс вырывания электронов с поверхности изделия(катод). Процесс вырывание электродов, за счет сильного электрического поля и есть автоэлектронная эмиссия. Благодаря этим процессом происходит катодное распыление оксидной пленки.

Этап дежурного тока перед импульсом прямой полярности.

На данном этапе кратковременный импульс завершается. Величина тока снижается до уровня дежурного тока. Плазменный поток уменьшается. Вновь начинается свободная конвекция, что означает дуга из сильноточной переходит в слабotoчную. Происходит пауза.

Этап импульса тока прямой полярности.

По завершение паузы происходит смена полярности, возрастает величина тока за счет использования высокочастотного импульса прямой полярности. Время импульса около 70 мкс. Анод и катод меняются местами. Т.е. катод – электрод, анод – изделие. За счет увеличения тока дуга становится сильноточной, происходит усиление плазменного потока, который движется от катода к аноду, доставляя достаточно энергии для расплавления изделия. В тоже время происходит термоэлектронная эмиссия за счет увеличения температуры защитного газа и сильного нагрева электрода.

На рисунке 12 представлена схематически эпюра переменного сварочного тока в динамическом режиме, при дежурном токе прямой

полярности. За один период следования сварочного тока можно выделить следующие этапы: этап тока дежурной дуги перед импульсом сварочного тока прямой полярности, этап импульса тока прямой полярности, этап дежурного тока перед импульсом прямой полярности, этап импульса тока обратной полярности. При переходах от дежурного тока к току импульса процессы в дуговом промежутке будут отличаться в зависимости от полярности тока импульса. С учетом этого будут рассмотрены процессы на различных этапах феноменологической модели дуги.

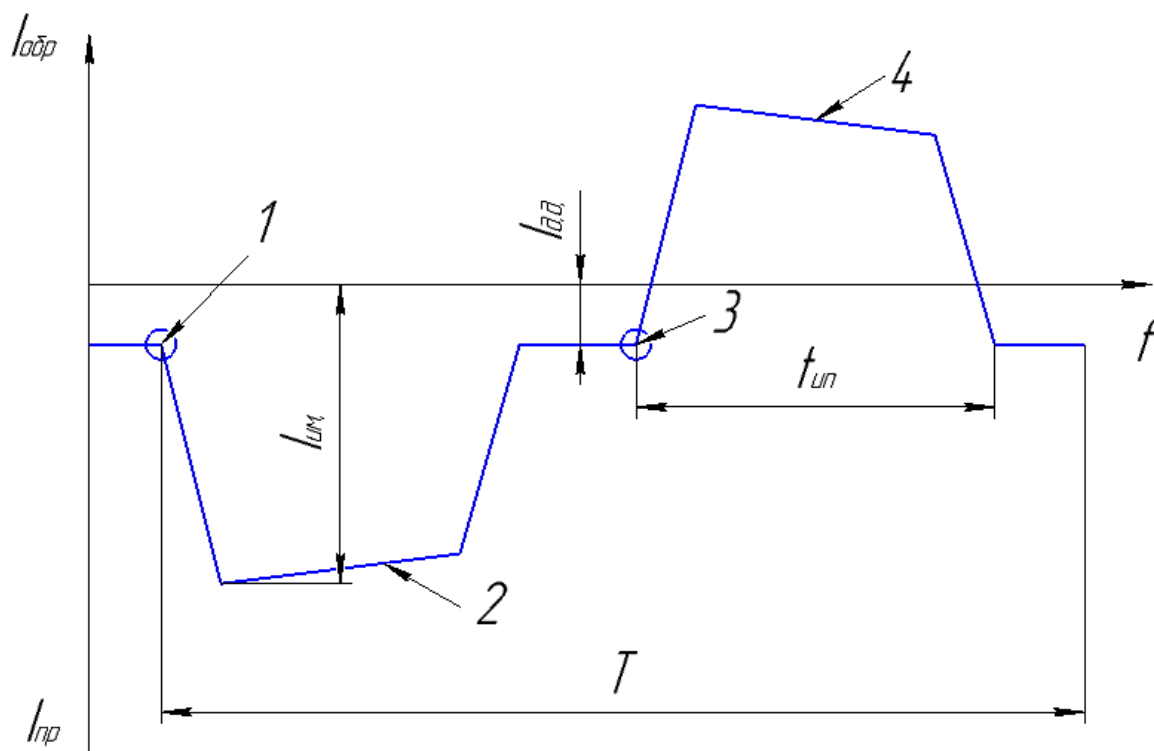


Рисунок 12 - Эмпора тока дуги в динамическом режиме при дежурном токе прямой полярности, представленные схематично

Этап тока дежурной дуги перед импульсом сварочного тока прямой полярности.

На данном участке сварочная дуга называется слаботочной, так как сила дежурного тока на обратной полярности не велика, всего 10-15 А. Катодом является электрод, анодом изделия. В данной дуге происходит свободная конвекция. Потоки электронов свободно бегут на анод, а ионы на катод. На

данной полярности протекает термоэлектронная эмиссия. Происходит слабое расплавление изделия.

Этап импульса тока прямой полярности.

Изменение направление движения заряженных частиц не происходит. На данном этапе резко увеличивается величина сварочного тока, за счет применения кратковременного импульса. Время импульса около 70 мкс. Из-за увеличения тока возникает гидродинамическое течение со скоростями, значительно превышающие скорости естественной конвекции. При этом дуга изменяется от слабotoчной до сильноточной дуги. Это характеризуется тем, что появляется сильный плазменный поток направленный с катода на анод. Благодаря этому потоку энергия увеличится проплавляющая способность, что позволяет концентрированно вводить тепло в изделие. В тоже время за счет сильного нагрева электрода будет происходить интенсивный процесс вырывания электронов с поверхности электрода(катод). Процесс вырывание электродов, за счет сильного теплового нагрева катода и есть термоэлектронная эмиссия. Благодаря этим процессом происходит сваривание изделия.

Этап дежурного тока перед импульсом обратной полярности.

На данном этапе кратковременный импульс завершается. Величина тока снижается до уровня дежурного тока. Плазменный поток уменьшается. Вновь начинается свободная конвекция, что означает дуга из сильноточной переходит в слабotoчную. Происходит пауза.

Этап импульса тока обратной полярности.

По завершение паузы происходит смена полярности, возрастает величина тока за счет использования высокочастотного импульса обратной полярности. Время импульса около 70 мкс. Анод и катод меняются местами. Т.е. катод – изделие, анод – электрод. За счет увеличения тока дуга становится сильноточной, происходит усиление плазменного потока, который движется от анода к катоду. Доставляемой энергии не достаточно, чтобы расплавить изделия. В тоже время происходит автоэлектронная эмиссия под действием

сильного электрического поля, электроны начинают вырываться с поверхности изделия происходит катодное распыление.

3 Разработка экспериментальной установки

Для проведения исследования процесса сварки дугой горячей в динамическом режиме разработана экспериментальная установка, функциональная схема которой представлена ниже на рисунке 13.

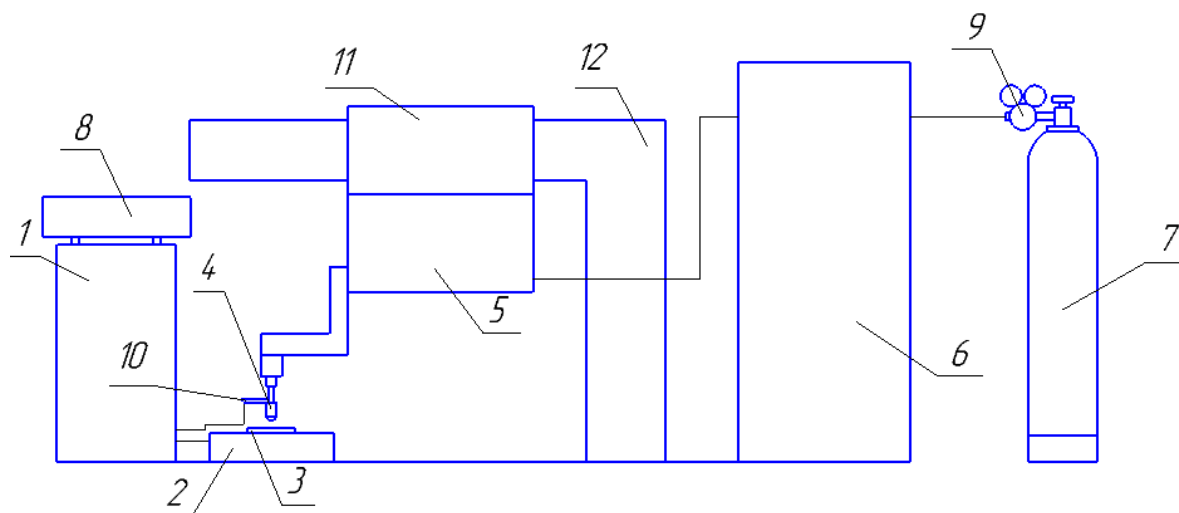


Рисунок 13 – Схема экспериментальной установки

В состав установки входят следующие устройства: 1 – импульсный источник питания; 2 – манипулятор; 3 – изделие; 4 – сварочная головка; 5 – пульт управления автоматом; 6 – шкаф управления; 7 – газовый баллон (аргон высокой чистоты); 8 – осциллограф С8-17; 9 – газовый редуктор; 10 – шунт; 11 – механизм горизонтального перемещения; 12 – направляющая для передвижения автомата.

3.1 Функциональная схема устройства

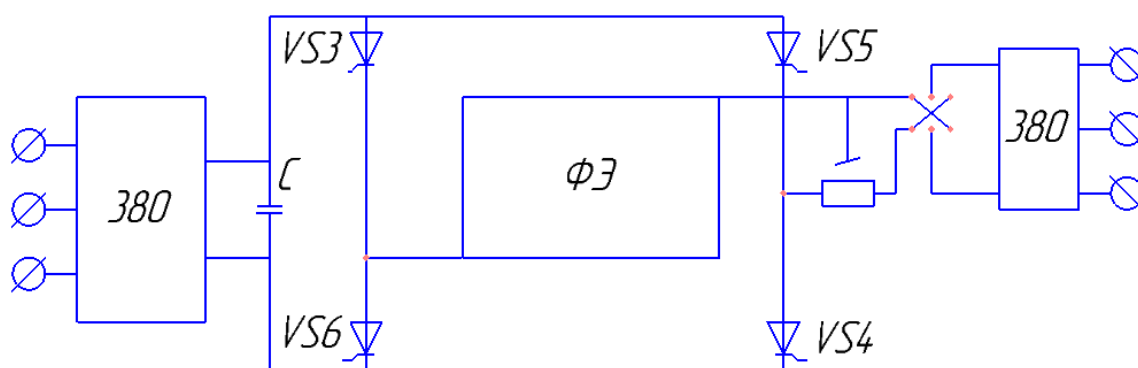


Рисунок 14 – Функциональная схема устройства

Устройство состоит из основного трехфазного выпрямителя В и вспомогательного трехфазного выпрямителя В, обладающего жесткой внешней характеристикой и регулируемым напряжением холостого хода. Для уменьшения внутреннего сопротивления к выходным клеммам В, подключена батарея конденсаторов большой емкости С. Импульсная часть устройства выполнена в виде мостового преобразователя выполненного на тиристорах VS3 – VS6, в одну диагональ которого включен формирующий элемент ФЭ с ненулевыми начальными условиями. Другая диагональ включена последовательно в сварочную цепь.

Включение ФЭ в диагональ тиристорного моста и наличие батареи конденсаторов С, позволяет при поочередном открытии пар тиристоров VS3, VS4 и VS5, VS6 перезаряжать ФЭ на противоположную полярность через дуговой промежуток, без предварительного заряда от источника питания.

При переключении ключа К и использование вспомогательного трехфазного трансформатора, приводит к смене полярности импульсов.

Для обеспечения непрерывного горения дуги между импульсами используется дежурный ток, он протекает в обход ФЭ. Диапазон дежурного тока 10 -15 А.

3.2 Принципиальная схема устройства для формирования импульсов сварочного тока

Принципиальная схема предлагаемого устройства для формирования импульсов сварочного тока представлена на рисунке 15.

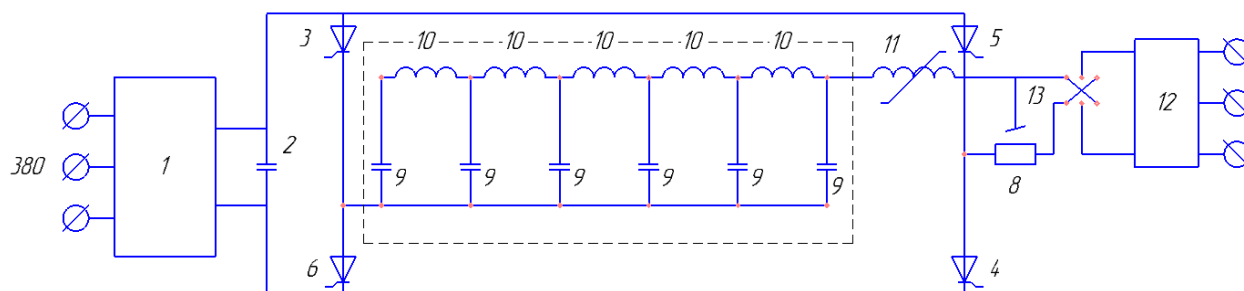


Рисунок 15 - Принципиальная схема устройства питания импульсной дуги

Устройство состоит из трехфазного понижающего выпрямителя 1, обладающего жесткой внешней характеристикой и регулируемым напряжением холостого хода, к выходным клеммам которого для уменьшения внутреннего сопротивления подключена батарея конденсаторов 2. Зарядно – перезарядные тиристоры 3,4,5,6 соединены в мостовую схему, в диагональ которой между точками соединения анодов с катодами тиристоров включены последовательно соединенные формирующий элемент 7 и сварочная дуга 8, а к другой – трехфазный выпрямитель. Формирующий элемент 7, в виде искусственной формирующей линии, состоящий из n (Ля - Ся) ячеек, каждая из которых состоит из последовательно включенных конденсатора ячейки 9 и дросселя ячейки 10, причем свободные выводы обкладок конденсаторов соединены вместе, а точки соединения конденсатора и дросселей предыдущих ячеек. В качестве последнего дросселя ячейки, использован быстронасыщающийся дроссель 11, индуктивность которого в насыщенном состоянии равной индуктивности дросселей ячеек.

Благодаря включению сварочной дуги последовательно с формирующим элементом в диагональ тиристорного моста при поочередном включение пар тиристоров, находящихся в противоположных плечах тиристорного моста 3,4 и

5,6 будет происходить перезаряд искусственной формирующей линии на противоположную полярность. Через дуговой промежуток при этом будут протекать разнополярные импульсы тока.

Для непрерывности горения сварочной дуги параллельно ей подключен маломощный источник 12 с крутопадающей характеристикой и большой индуктивностью в сварочной цепи, обеспечивающей протекание тока паузы на интервале между импульсами (10 - 15) А. Полярность подключения источника может быть прямой и обратной что осуществляется переключателем 13.

Устройство работает следующим образом. При подаче управляющих импульсов на тиристоры 3 и 4, находящихся в противоположных ключах тиристорного моста, конденсаторы 9 заряжаются с плюсом на нижних обкладках и с минусом на верхних обкладках. Конденсатор 2 всегда заряжен от выпрямителя 1 с плюсом на верхней обкладке, а конденсаторы 9 в момент открытия тиристоров 3 и 4 имеют заряд с полярностью: плюс на верхней обкладке и минус на нижней обкладке.

При открытии тиристоров 3 и 4 под действием суммарного напряжения источника питания 1 и напряжения заряженных конденсаторов 9 происходит перезаряд искусственной формирующей линии 7 по цепи: плюс выпрямителя 1 – тиристор 3 – искусственная формирующая линия 7 – быстронасыщающийся дроссель 11 – дуговой промежуток 8 – тиристор 4 – минус выпрямителя 1.

При этом через дуговой промежуток протекает ток обратной полярности. Если от вспомогательного выпрямителя 12 протекает дежурный ток обратной полярности, то ток суммируется с положительной волной импульса, если – прямой полярности, то дежурный ток суммируется с отрицательной волной. В конце перезаряда полярность конденсаторов 9 сменится на противоположную: плюс на нижних обкладках, минус – на верхних.

При открытии тиристоров 5 и 6 процесс перезаряда искусственной формирующей линии происходит аналогично. В этом случае протекает ток перезаряда через вспомогательный выпрямитель 12 в виду большой

индуктивности его вторичной цепи и кратковременности времени перезаряда искусственной формирующей линии 7 исключено.

Предлагаемое устройство отличается простотой схемного решения и надежностью работы и позволяет осуществлять сварку разнополярными импульсами дугой, горящей в динамическом режиме, что обеспечивает:

- катодную очистку поверхности изделия сплавов на основе алюминия и магния:
- изменение полярности тока дежурной дуги и его величине:
- локальный ввод тепла в изделие:
- возможности изменения постоянной составляющей по величине и знаку;
- широкий диапазон регулирования частоты следования разнополярных импульсов.

3.3 Схема управления сварочным циклом

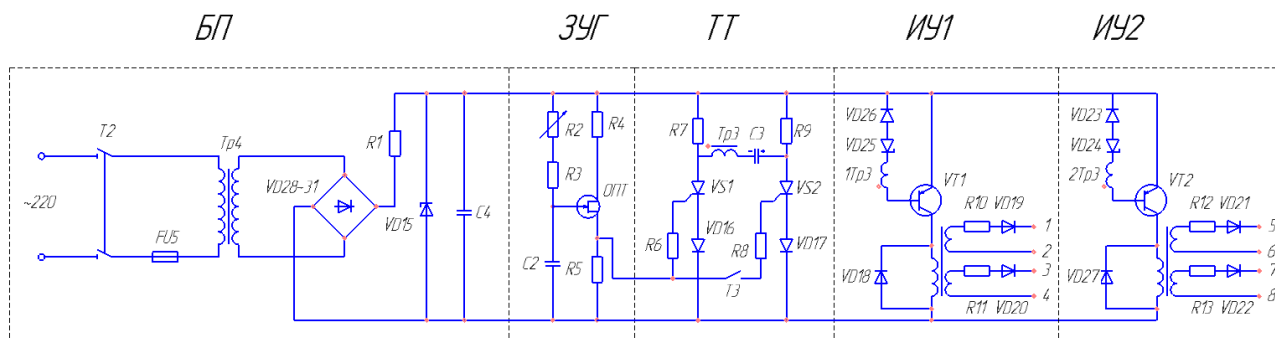


Рисунок 16 – Схема управления импульсным устройством

Управление тиристорами VS3 – VS6 мостовой схемы импульсного устройства осуществляется схемой управления, функциональная схема которого представлена на рисунке 17.

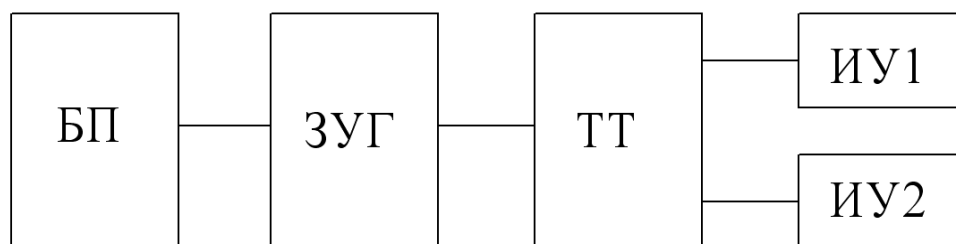


Рисунок 17 - Функциональная схема электрической схемы управления импульсным устройством

Питание схемы управления осуществляется от блока питания БП, состоящего из понижающего трансформатора Тр4, первичная обмотка которого подключается тумблером Т2 через предохранитель FU5 к напряжению 220 В. Напряжение вторичной обмотки выпрямляется выпрямителем на диодах VD28 - VD31. Выпрямленное напряжение стабилизируется стабилитроном VD15 с падением части напряжения на балластном сопротивлении R1 и сглаживается конденсаторным фильтром. От этого напряжения питается схема управления. Частота работы установки задаётся задающим управляющим генератором частоты ЗУГ, частоту которого можно изменять от нескольких герц до десятков килогерц при соответствующем снижении длительности импульсов.

Управляющий генератор выполнен на однопереходном транзисторе ОПТ, базой которого через сопротивления R4 и R5 подключены к питающему сопротивлению, а эмиттер подключен к конденсатору C2 времязадающей цепи, выполненной на упомянутом конденсаторе C2 и сопротивлениях R2, R3. Генератор является релаксационным генератором. При заряде конденсатора C2 по экспоненциальному закону через сопротивления R2 и R3 от источника питания до пробивного напряжения перехода эмиттер – база 2 – ОПТ происходит мгновенный разряд конденсатора на сопротивление R5. Изменяя величину сопротивления R2 можно в широких пределах изменять частоту генерации. Последовательность импульсов R5 поступает на два входа тиристорного триггера, который осуществляет деление частоты на два. С двух выходов триггера далее передаются две последовательности импульсов с

частотой уменьшенной в два раза и смещённых относительно друг друга на пол периода. Тиристорный триггер выполнен на тиристорах VS5, VS6, в катодные цепи которого включены соответственно диоды VD16, VD17, защищающие тиристоры от обратных напряжений. В анодные цепи тиристоров включены сопротивления R7 и R9. Между анодами тиристоров VS5 и VS6 включена цепочка из последовательно соединённых конденсатора C3 и первичной обмотки импульсного трансформатора Tr3. Вторичные обмотки 1Tr3 и 2Tr3 импульсного трансформатора являются выходами тиристорного триггера, которые выдают импульсы при смене состояния триггера. Входами триггера являются управляющие электроды тиристоров VS5 и VS6, на которые через сопротивления R6 и R8 одновременно поступает последовательность импульсов с сопротивления R5 генератора частоты. По типу тиристорный триггер является Т – триггером, у которого, при каждом поступлении импульса на оба входа одновременно, изменяется состояние, и первичная обмотка трансформатора Tr3 поочерёдно генерирует разнополярные импульсы во вторичных обмотках 1Tr3 и 2Tr3. Эти обмотки включены: 1Tr3 через диоды VD25, VD26 в базовую цепь транзистора VT1; 2Tr3 через диоды VD23, VD24 в базовую цепь транзистора VT2, таким образом, что каждый из этих транзисторов открывается импульсами одной полярности сдвинутых относительно друг друга на пол периода. На транзисторах VT1 и VT2 выполнены импульсные усилители. В коллекторные цепи транзисторов включены импульсные трансформаторы Tr5 и Tr6, первичные обмотки которых зашунтированы в обратном направлении диодами VD18 и VD27 для снятия перенапряжения. При поочерёдном срабатывании импульсных усилителей с их вторичных обмоток снимаются импульсы напряжений, которые поочерёдно открывают попарно тиристоры импульсного устройства VS1, VS3 – VS2, VS4. В результате этого при открытии указанных пар тиристоров через дуговой промежуток проходят импульсы сварочного тока. Тумблер Т3 служит для включения и выключения импульсов импульсного устройства.

1. установка обеспечивает питание дуги импульсами длительность которых не превышает 80 мкс, с формой импульсов близкой к трапецеидальной. При этом срез импульса превышает фронт импульса по длительности в 4 раза, что предотвращает схлопывание столба дуги. Установка имеет широкие регулировочные возможности по частоте следования импульсов (за счет исключения этапа предварительного заряда конденсаторов формирующей линии) в диапазоне от 600 до 5000Гц;

2. Для подвода высокочастотной энергии от источника к сварочной дуге используется коаксиальный кабель;

3. При снятии осциллограмм тока и напряжения дуги и динамической характеристики дуги для исключения искажений формы тока используется специальный шунт;

4. Для снятия динамической характеристики используется осциллограф С8-17 в котором блок развертки заменен блоком предварительного усиления.

4 Разработка процесса сварки сплавов на основе алюминия динамической дугой в импульсном режиме, разностенных деталей

4.1 Специфика сварки разностенных деталей

Основная трудность процесса сварки деталей различной толщины плавлением – неравномерность нагрева кромок деталей: тонкая кромка перегревается раньше, чем относительно массивная деталь нагреется до температуры плавления, образуются прожоги. Так же на этом негативно сказывается высокая теплопроводность алюминия и сплавов на его основе.

Во избежание отвода тепла из зоны сварки более “массивной” деталью, используется динамический режим горения дуги, для более концентрированного введения тепла.

Концентрированное введение тепла обеспечивается формой дуги при ее горении в динамическом режиме. Из-за уменьшенной площади активного пятна на изделии, плотность тока выше, а площадь нагрева уменьшена.

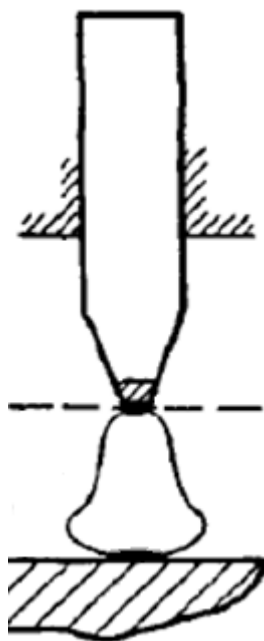


Рисунок 18 – Форма динамической дуги

Этим достигается обеспечение равных теплофизических условий в зоне сварки для обеих соединяемых кромок деталей.

4.2 Подготовительные операции

Перед сборкой деталей в оснастке необходима их очистка от окисной пленки химической (травлением) либо механической обработкой, без использования абразивных материалов (шабер, напильник и т.п.).

Удаление оксидных пленок осуществляют травлением в растворах кислот или щелочей. Состав раствора определяется видом металла, толщиной окисной пленки и требуемой скоростью травления. После операции травления детали осветляют в растворе азотной кислоты.

По окончании травления и осветления детали промываются в пятнадцати процентном растворе кальцинированной соды (Na_2CO_3). Затем тщательно промываются водой.

4.3 Процесс сварки

Как было отмечено в подпункте 4.1 за счет динамического режима горения дуги осуществляется концентрированный ввод тепла в изделие, но этого недостаточно. Для еще большей концентрации ввода тепла применен импульсный режим сварки. Для этого формируется импульс тока, представляющий собой пачку импульсов с минимальными паузами между импульсами переменного тока. Во время паузы частота снижается до минимальной, что на интервале паузы ограничивает ввод тепла по сравнению с импульсом.

В таблице 1 описаны параметры и режимы

Таблица 1 – Режимы и параметры сварки

I_w	$I_{o.d.}$	U_w	$U_{o.d.}$	l_o	f
A	A	B	B	$мм$	$кГц$
350	15	32	6	1,2	0,6 - 3,2

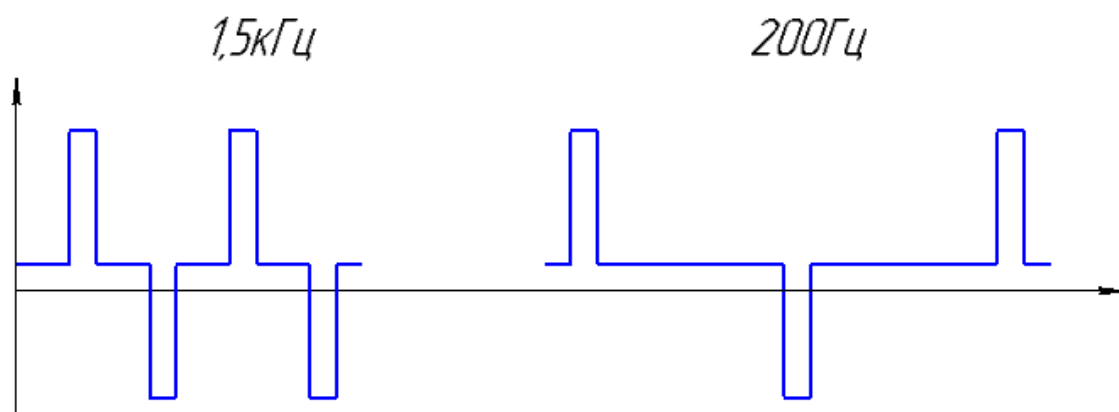


Рисунок 19 - Эпюра тока импульсно-дуговой сварки переменным током
прямоугольной формы

Для большего удобства сварки детали закреплены в специальные приспособления представленные на рисунках 20 и 21.

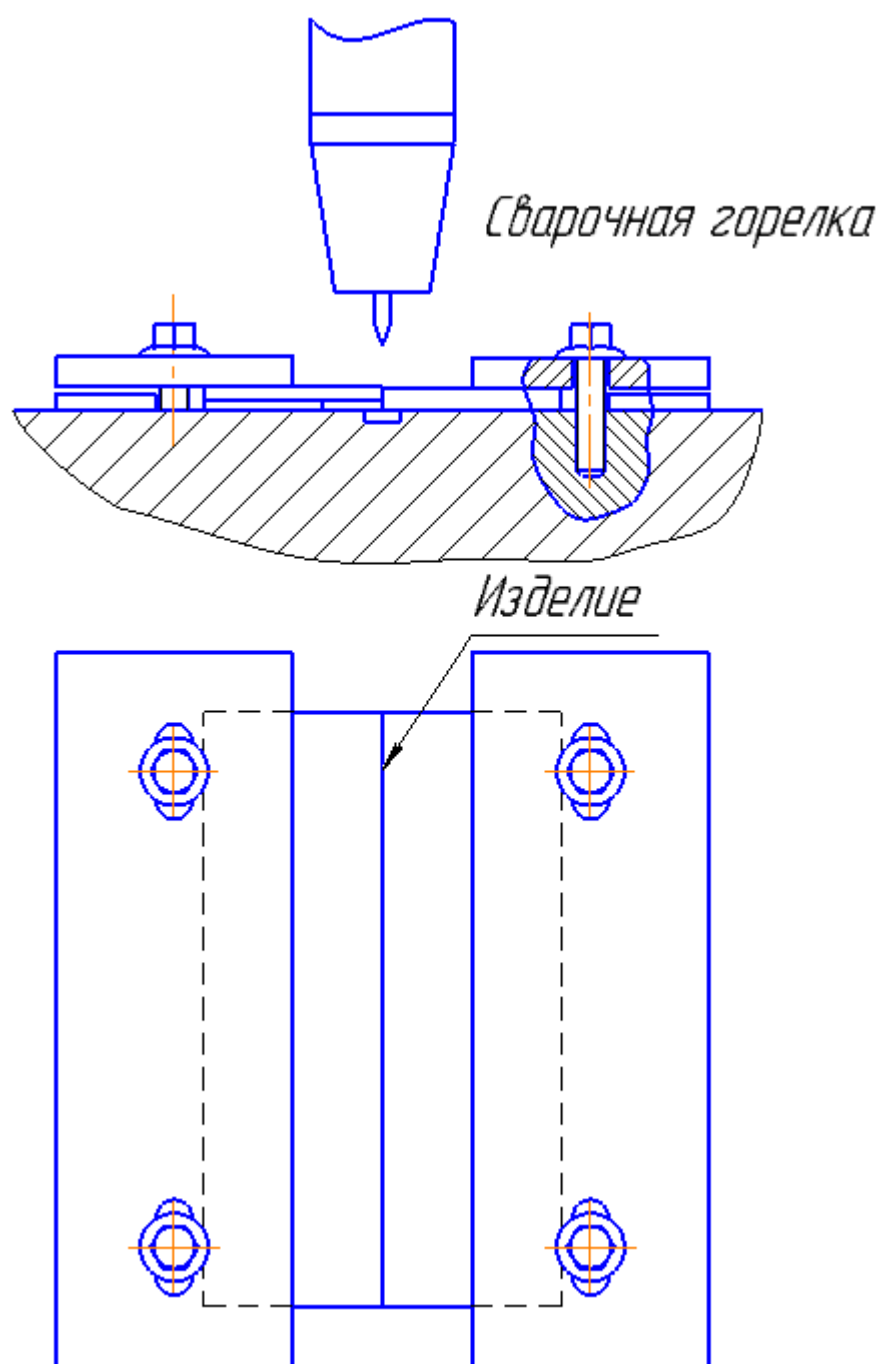


Рисунок 20 – Приспособление для сварки двух разнотолщинных пластин, стыковое соединение

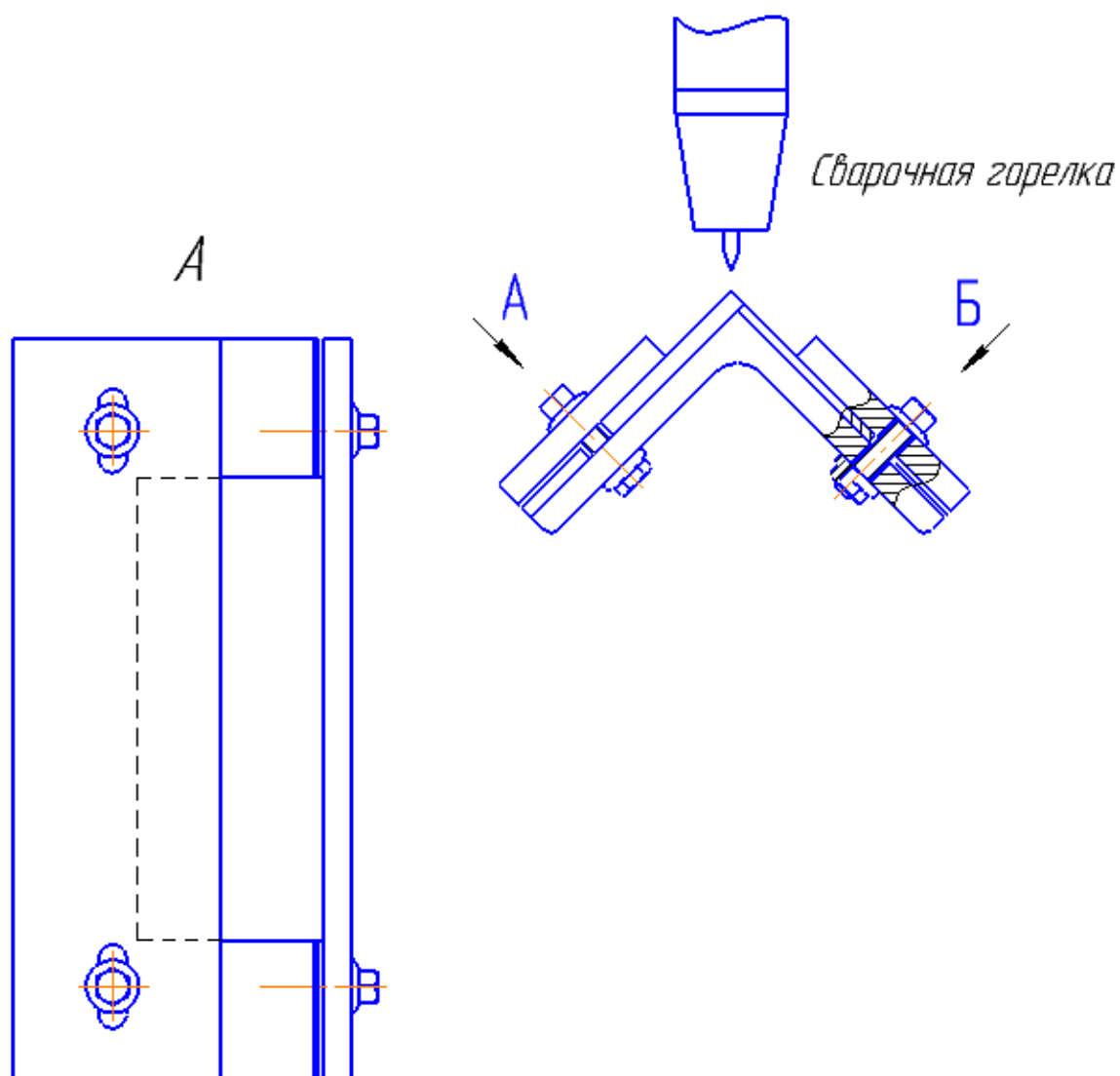


Рисунок 21 - Приспособление для сварки двух разнотолщинных пластин, угловое соединение



Рисунок 22 – Лицевая сторона

На рисунке 22 показаны три следа после прохождения импульсной дугой в динамическом режиме:

1. Обратная полярность. Дуга горит с окисной пленки поэтому ширина катодной зоны больше.
2. Прямая полярность, те же режимы.
3. Прямая полярность. Скорость передвижения уменьшена



Рисунок 23 – Обратная сторона

1. При обратной полярности относительное ровное проплавление.
2. Слабое неоднородное проплавление.
3. За счет введения большей погонной энергии проплавление увеличивается соответственно времени.

При помощи приспособления показанного на рисунке 21 проварен угловой шов, визуально-измерительный контроль выявил прожег в начале шва, это стало следствием несовершенства передвижения консоли (рисунок 24)



Рисунок 24 – Лицевая сторона шва углового шва

Сам шов имеет полное проплавление, без явных, значительных дефектов.



Рисунок 25 – Корень углового шва



Рисунок 26 – Лицевая сторона стыкового шва

Шов выполнен без прожогов, имеется поверхностная пора, вызванная плохой зачисткой деталей (рисунок 26).



Рисунок 27 – Корень стыкового шва

Анализируя фото корня стыкового шва (рисунок 27) можно сказать, что имеется полное проплавление соединения.

4.4 Контроль качества

После сварки сварной шов подвергается визуально измерительному контролю.

Осмотр готовых изделий визуальным контролем. Невооруженным глазом или с помощью лупы выявляют прежде всего дефекты швов в виде трещин, подрезов, пор, свищей, прожогов, наплывов, непроваров в нижней части швов. Многие из этих дефектов, как правило, недопустимы и подлежат исправлению. При визуальном контроле выявляют также дефекты формы швов, распределение чешуек и общий характер распределения металла в усилении шва.

Внешний вид поверхности шва характерен для каждого способа сварки, а также для пространственного положения, в котором выполнялась сварка. Равномерность чешуек характеризует работу сварщика, его умение поддерживать постоянную длину дуги и равномерную скорость сварки. Неравномерность чешуек, разная ширина и высота шва указывают на колебание мощности дуги, частые обрывы и неустойчивость горения дуги в процессе сварки. В таком шве возможны непровары, поры, шлаки и другие дефекты. При сварке в вертикальном и потолочном положениях сварные швы имеют резко выраженную Неравномерность чешуек, бугры, седловины и наплывы. При сварке в защитных газах в вакууме внешняя поверхность швов гладкая, блестящая, без чешуек и имеет вид полосы расплавленного металла. В сварных швах, выполняемых из титана и других активных материалов, контролируют цвет и величину зоны цветов побежалости.

5 Экспериментальная часть

5.1 Методика снятия осциллограмм тока и напряжения

Физические процессы, протекающие в дуге, питаемой мощными импульсами тока, изучены мало. Более доступные экспериментальному исследованию вольт - амперные характеристики электрической импульсной дуги изучены при сварке в аргоне [31].

Изучение динамических характеристик дуги при импульсно-дуговой сварке необходимо для определения свойств импульсной дуги как нагрузки и позволяет получить необходимые исходные данные для расчета и конструирования источников питания, а также для технологических целей [31].

Вследствие больших скоростей изменения напряжения и тока при импульсно-дуговой сварке динамические характеристики могут быть определены только при использовании регистрирующих приборов с малой инерционностью, например с помощью электронного осциллографа [32].

На рисунке 28 представлена принципиальная схема проведения записи и измерения напряжения и тока дуги, горящей в динамическом режиме. Для регистрации напряжения и тока дуги используем осциллограф универсальный запоминающий С8 - 17.

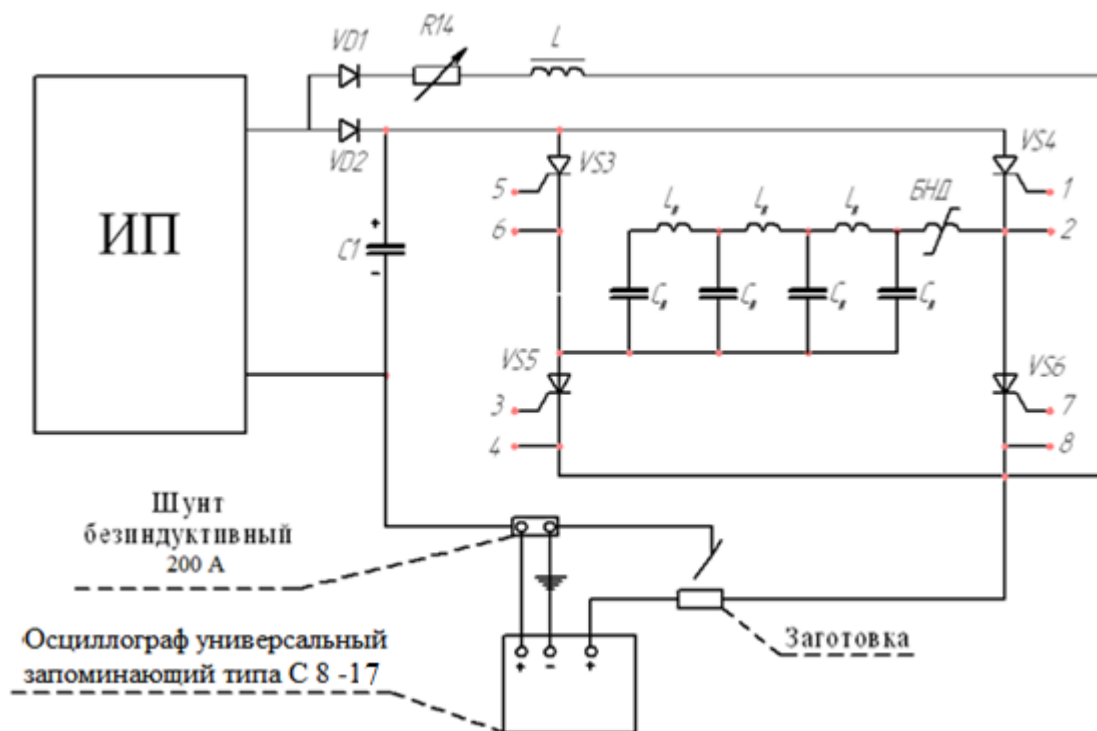


Рисунок 28 – Принципиальная схема проведения записи и измерения напряжения и тока дуги, горящей в динамическом режиме

На рисунке 29 представлена принципиальная схема проведения записи динамической вольт - амперной характеристики дуги, горящей в динамическом режиме.

Для регистрации динамической вольт - амперной характеристики дуги используем электронный осциллограф С1 – 19Б с двумя блоками управления БПУ - 1. В данном случае осциллограф имеет два блока усиления, что позволяет снимать ток и напряжение одновременно и получать динамическую характеристику на экране осциллографа (петлю гистерезиса). По оси ординат - напряжение, по оси абсцисс - ток. Петля гистерезиса определяется амплитудой и скоростью нарастания, накладываемого на дугу возмущения. Чем больше скорости изменения тока, тем больше динамические характеристики отличаются от статической.

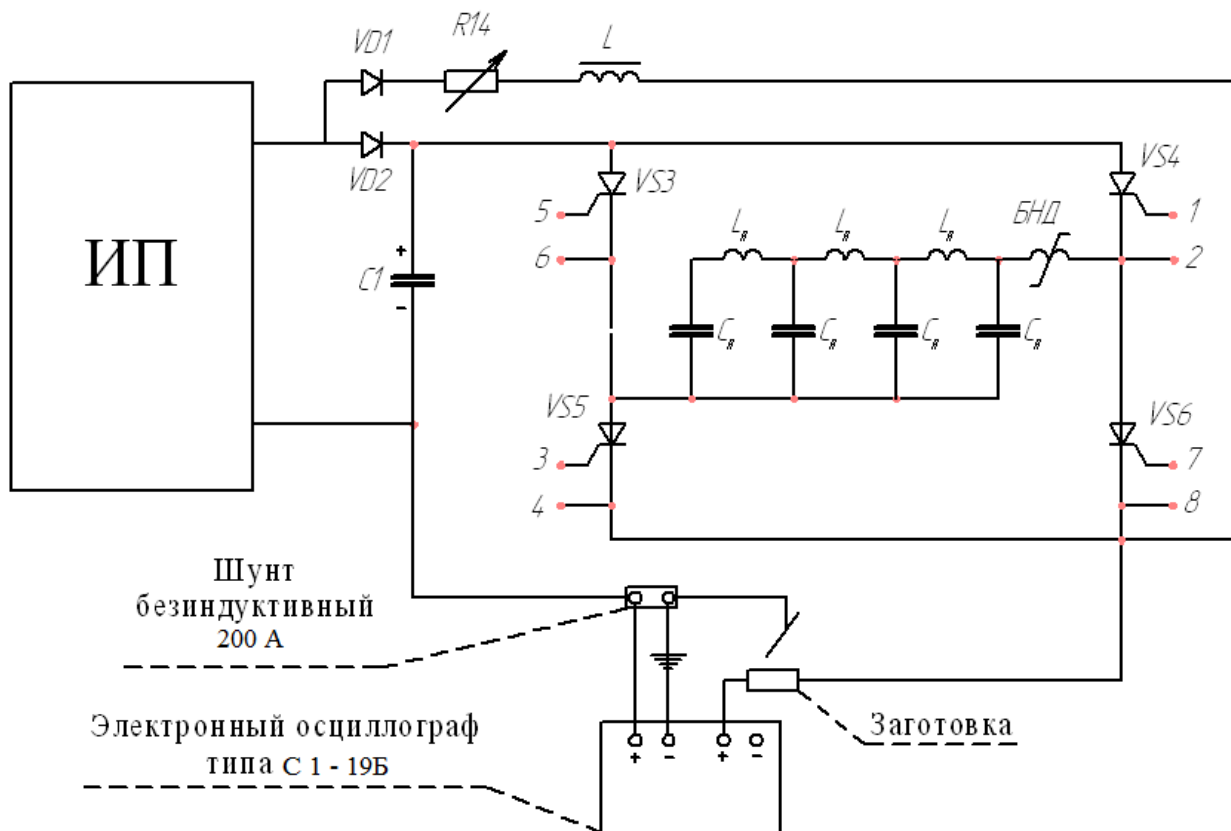


Рисунок 29 – Принципиальная схема проведения записи динамической вольт – амперной характеристики дуги, горящей в динамическом режиме

Цель эксперимента:

- получить реальные зависимости тока и напряжения от времени;
- получить динамическую характеристику.

Оборудование, приспособления, инструмент:

- экспериментальная установка для питания динамической дуги;
- сварочный автомат АДСВ-5;
- осциллограф двухлучевой запоминающий С8 - 17;
- электронный осциллограф С1 – 19Б;
- шунт безиндуктивный 150 А.

Параметры режима сварки представлены в таблице 1.

Таблица 2 – Параметры режима сварки

$I_u,$	$I_{d.d.},$	$U_u,$	$U_{d.d.},$	$l_d,$	$f,$
A	A	B	B	$мм$	$кГц$
350	15	32	6	1,2	0,6 - 3,2

Ход эксперимента:

Опыт 1. Получить реальные зависимости тока и напряжения от времени:

- подключить осциллограф С8 - 17, как показано на рисунке 28;
- включить выпрямитель, питающий цепь дежурной дуги и выпрямитель, питающий импульсное устройство;
- включить подачу аргона;
- зажечь дежурную дугу угольным электродом;
- включить автомат АДСВ - 5 с постоянной скоростью движения сварочной головки;
- включить импульсное устройство;
- на осциллографе С8 - 17 зарегистрировать осциллограммы тока и напряжения.

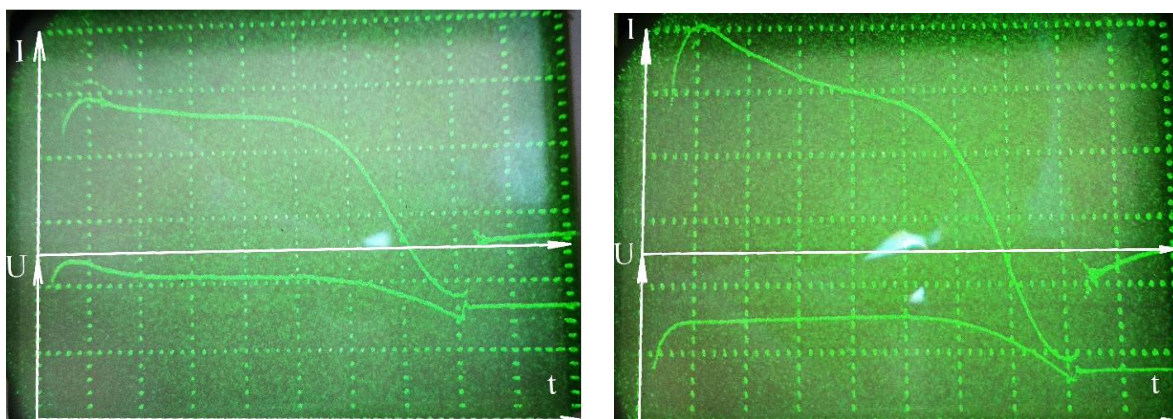


Рисунок 30 – Типичные осциллограммы тока и напряжения

Опыт 2. Получить динамическую вольт – амперную характеристику:

- подключить осциллограф С1 - 19Б, как показано на рисунке 29;
- включить выпрямитель, питающий цепь дежурной дуги и выпрямитель, питающий импульсное устройство;

- включить подачу аргона;
- зажечь дежурную дугу угольным электродом;
- включить автомат АДСВ - 5 с постоянной скоростью движения сварочной головки;
- включить импульсное устройство;
- на осциллографе С1 – 19Б зарегистрировать динамическую вольт - амперную характеристику дуги.

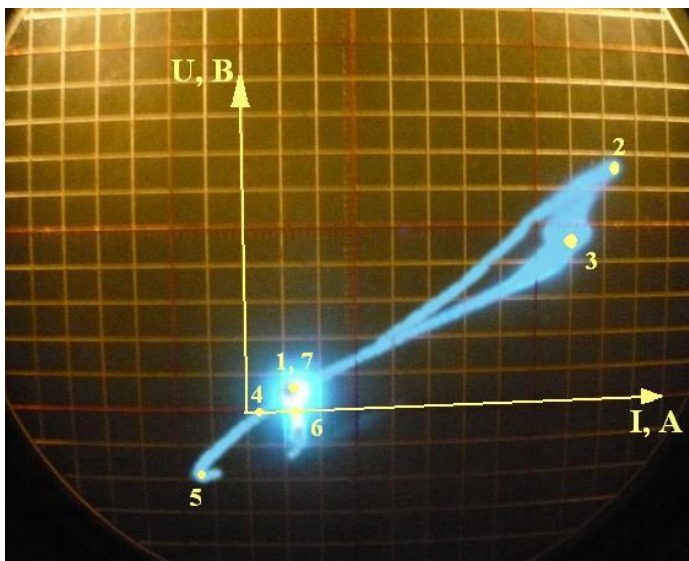


Рисунок 31 – Динамическая вольт амперная характеристика дуги

В ходе эксперимента были получены зависимости тока и напряжения дуги от времени, и динамическая вольт – амперная характеристика дуги. На представленных осциллограмме тока дуги и напряжения видно, что импульсы по форме близки к прямоугольной, скорость нарастания импульсов и их продолжительность обеспечивает динамический режим горения дуги. При быстром изменении тока недостаток термической эмиссии восполняется автоэлектронной, что в свою очередь приводит к увеличению напряжения.

Ввиду большей концентрации теплового потока при сварке дугой горячей в динамическом режиме требуется среднее значение тока меньшее на 30 - 40 %, чем при сварке в непрерывном режиме при сохранении высокой устойчивости физического горения дуги и сохранении высокой технологической устойчивости процесса сварки.

6 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

6.1 Предпроектный анализ

Целью экономической части диплома является анализ процесса с экономической точки зрения.

В данном разделе производится учет всех технико-экономических факторов на каждой стадии проекта, оценивается эффективность разработки, анализируются возможные способы исполнения процесса сварки, а также рассчитывается эффективность производства по одному из способов.

6.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Результаты исследования могут быть применены на объектах производства металлоконструкций из сплавов алюминия. Алюминиевые сплавы используются во многих отраслях промышленности. Сегментируем рынок потребления продукции из алюминиевых сплавов в зависимости от отрасли, размера компании и уровня потребления продукции. Карта представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Карта сегментирования по отраслям промышленности

Параметр		Отрасль			
		Авиационная	Машиностроение	Приборостроение	Химическая
Размер компании	Крупные				
	Средние				
	Мелкие				
Уровень потребления продукции	Высокий				
	Средний				
	Низкий				

ПАО Сибур		ПАО «НАЗ им. В.П.Чкалова»		ОАО ТЭМЗ		ЗАО Сибкабель	
-----------	--	---------------------------	--	----------	--	---------------	--

Из таблицы видно, что основными сегментами являются крупные компании авиационной промышленности с высоким уровнем потребления продукции из алюминиевых сплавов. Следовательно, эти компании являются наиболее заинтересованными в результатах исследования. Данный способ сварки в основном применим при изготовлении корпусов аппаратуры, рабочих колес и корпусов вентиляторов.

6.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Помимо ручной аргонно-дуговой сварки на переменном токе импульсной дугой разрешается применять сварку на переменном токе без импульсного режима горения дуги.

За счет импульсной дуги с частотой 200 Гц тепло вводится в деталь более концентрированно, что позволяет уменьшить время необходимого нагрева детали, избегая перегрева и коробления.

При сварке на переменном токе без импульсного режима горения дуги увеличивается затраченное времени на изготовление единицы изделия, за счет увеличенного времени охлаждения изделия. Так же увеличивается количество брака за счет перегрева и излишнего проплавления деталей.

В качестве конкурента так же рассмотрена импульсная дуга промышленной частоты 50 Гц. За счет меньшей частоты дуга менее стабильна, соответственно менее концентрирована.

С помощью анализа конкурентных технических решений, проведем оценку сравнительной эффективности научной разработки и определим направление для ее реализации.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5

– наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1.

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \times B_i, \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

Оценочная карта представлена в таблице 4

Таблица 4 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес с кр	Баллы			Конкурентоспо собность		
		Б _ф	Б _к	Б _к	К _ф	К _{к1}	К _к
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Спрос проекта	0,1	5	3	5	0,5	0,3	0,2
2. Удобство в применении	0,2	5	4	4	1	0,8	0,4
3. Возможности проекта	0,1 5	3	4	5	0,45	0,6	0,7 5
4. Универсальность	0,1	4	4	2	0,4	0,4	0,2
5. Эффективность применения	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность	0,1	2	5	3	0,3	0,7	0,4
2. Уровень проникновения на рынок	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
3. Цена	0,1	4	3	3	0,4	0,3	0,3
4. Квалифицированные кадры	0,0 5	5	5	5	0,3	0,3	0,3
Итого	1	38	36	35	4,35	4,2	3,4
<i>Примечание:</i> Б _ф – аргонодуговая сварка неплавящимся электродом с применением импульсного режима горения дуги(частота переменного тока 200Гц) ; Б _{к1} – аргонодуговая сварка неплавящимся электродом с применением импульсного режима горения дуги(частота переменного тока 50Гц); Б _{к2} – аргонодуговая сварка неплавящимся электродом без применения импульсного режима горения дуги;							

Исходя из полученных данных, можно судить, что технология с применением импульсной дуги, рассмотренная в дипломной работе, эффективнее, чем методы, применяемые конкурентами.

6.1.3 FAST – анализ

FAST – анализ состоит из шести стадий:

1. Выбор объекта FAST-анализа;
2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом;
3. Определение значимости выполняемых функций объектом;
4. Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования;
5. Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ;
6. Оптимизация функций, выполняемых объектом.

Стадия 1. Выбор объекта FAST-анализа.

В качестве предмета исследования выбран сварочный комплекс для сварки TRITON ALUTIG 200P AC/DC в режиме импульсного горения дуги.

Стадия 2. Описание главной, основных и вспомогательных функций, выполняемых объектом.

Таблица 5 – Классификация функций, выполняемых объектом

Наименование детали (узла, процесса)	Количество деталей на узел	Выполняемая функция	Ранг функции		
			Главная	Основная	Вспомогательная
1. Инверторный сварочный аппарат TRITON ALUTIG 200P AC/DC	1	Образует сварочную дугу, настройка параметров	X		
2. Универсальная горелка TIG WP26	1	Управление процессом	X		
3. Газовый баллон	1	Подача газа		X	
4. Редуктор	1	Регулирование подачи газа			X
5. Газовые шланги	1	Подвод газа к горелке		X	
6. Кабель соединительный	1	Подвод		X	

10 м		электроэнергии к источнику питания			
7. Зажим на деталь с кабелем 5 м	1	Крепление детали		X	
8. Кулер	1	Охлаждение			X

Стадия 3. Определение значимости выполняемых функций объектом.

Для оценки значимости функций будем использовать метод расстановки приоритетов, предложенный Блумбергом В.А. и Глущенко В.Ф., в основу данного метода положено расчетно-экспертное определение значимости каждой функции.

Для начала необходимо построить матрицу смежности функций, в которой определим более значимые из них.

Таблица 6 – Матрица смежности

	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Инверторный сварочный аппарат TRITON ALUTIG 200P AC/DC	=	>	>	>	>	>	>	>
2. Универсальная горелка TIG WP26	<	=	>	>	>	>	>	>
3. Газовый баллон	<	<	=	>	=	=	=	>
4. Редуктор	<	<	<	=	<	<	<	=
5. Газовые шланги	<	<	=	>	=	=	=	>
6. Кабель соединительный 10 м	<	<	=	>	=	=	=	>
7. Зажим на деталь с кабелем 5 м	<	<	=	>	=	=	=	>
8. Кулер	<	<	<	=	<	<	<	=

Примечание: «<» – менее значимая; «=» – одинаковые функции по значимости; «>» – более значимая

Преобразовываем матрицы смежности в матрицы количественных соотношений функций.

Таблица 7 – Матрица количественных соотношений функций

	1	2	3	4	5	6	7	8	Итого	Вес
1. Инверторный сварочный аппарат TRITON ALUTIG 200P AC/DC	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	11,5	0,1796875
2. Универсальная горелка TIG WP26	0,5	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	10,5	0,1640625
3. Газовый баллон	0,5	0,5	1	1,5	1	1	1	1,5	8	0,125
4. Редуктор	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1	5	0,078125

5. Газовые шланги	0,5	0,5	1	1,5	1	1	1	1,5	8	0,125
6. Кабель соединительный 10 м	0,5	0,5	1	1,5	1	1	1	1,5	8	0,125
7. Зажим на деталь с кабелем 5 м	0,5	0,5	1	1,5	1	1	1	1,5	8	0,125
8. Кулер	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1	5	0,078125
									Σ	64
										1

Примечание: 0,5 при «<»; 1,5 при «>»; 1 при «=»

Определяем значимость функций путем деления балла, полученного по каждой функции, на общую сумму баллов по всем функциям.

Инверторный сварочный аппарат TRITON ALUTIG 200P AC/DC $11,5/64=0,1796875$; Универсальная горелка TIG WP26 $10,5/64=0,1640625$; Газовый баллон $8/64=0,125$; Редуктор $5/64=0,078125$; Газовые шланги $8/64=0,125$; Кабель соединительный 10 м. $8/64=0,125$; Зажим на деталь с кабелем 5 м. $8/64=0,125$; Кулер $5/64=0,078125$.

Обязательным условием является то, что сумма коэффициентов значимости всех функций должна равняться 1.

Стадия 4 Анализ стоимости функций, выполняемых объектом исследования.

Таблица 8 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом исследования

Наименование детали (узла, процесса)	Количество во деталей на узел	Выполняемая функция	Норма расхода, кг	Трудоемкость детали, нормо-часов	Стоимость материала, руб.	Заработная плата, руб.	Себестоимость, руб.	Итого, руб	Вес
1. Инверторный сварочный аппарат TRITON ALUTIG 200P AC/DC	1	Образует сварочную дугу, настройка параметров	20	5	6 000	1 000	3 000	10 000	0,075
2. Универсальная горелка TIG WP26	1	Управление процессом	1	2	9 000	2 000	4 000	15 000	0,112
3. Газовый баллон	1	Подача газа	30	5	10 000	2 000	4 000	16 000	0,119
4. Редуктор	1	Регулирование подачи газа	2	3	2 000	500	1 000	3 500	0,026
5. Газовые шланги	1	Подвод газа к горелке	5	4	5 000	1 000	2 000	8 000	0,06
6. Кабель соединительный 10 м	1	Подвод электроэнергии к источнику питания	5	2	3 000	800	1 500	5 300	0,04
7. Зажим на деталь с кабелем 5 м	1	Крепление детали	5	3	6 000	1 500	2 500	10 000	0,075
8. Кулер	1	Охлаждение	5	3	6 000	1 200	2 000	9 400	0,069

Задача данной стадии заключается в том, что с помощью специальных методов оценить уровень затрат на выполнение каждой функции.

Стадия 5 Построение функционально-стоимостной диаграммы объекта и ее анализ.

Информация об объекте исследования, собранная в рамках предыдущих стадий, на данном этапе обобщается в виде функционально – стоимостной диаграммы (ФСД), рисунок 32.



Рисунок 32 – Функционально-стоимостная диаграмма объекта

Анализ, приведенный выше ФСТД показывает явное наличие рассогласования по функциям 1, 4, 5, 6 к которым относятся инверторный сварочный аппарат TRITON ALUTIG 200P AC/DC, редуктор, газовые шланги, кабель соединительный 10 м. Необходимо провести работы по ликвидации данных диспропорций.

Стадия 6. Оптимизация функций, выполняемых объектом.

В качестве оптимизации данных функций можно выделить следующее:

- 1) оптимизация параметров надежности;
- 2) использование новых заготовок и материалов;
- 3) замена комплектующих на более дешевые отечественные аналоги;
- 4) унификации сборочных единиц и деталей.

В результате проведенного FAST-анализа были выявлены слабые стороны инверторный сварочный аппарат TRITON ALUTIG 200P AC/DC, редуктор, газовые шланги, кабель соединительный 10 м, оптимизация

которой приведет к уменьшению стоимости проекта и увеличению его эффективности.

6.1.4 SWOT-анализ

В этом разделе необходимо выявить сильные и слабые стороны научного проекта, а также возможности и угрозы для его дальнейшей реализации.

Первый этап – опишем сильные и слабые стороны проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта (таблица 9).

Таблица 9 – SWOT – анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Наличие бюджетного финансирования. С2. Наличие опытного руководителя С3. Использование современного оборудования С4. Актуальность проекта	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Развитие новых технологий Сл2. Высокая стоимость оборудования Сл3. Отсутствие квалифицированного персонала.
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Повышение стоимости конкурентных разработок.		
Угрозы: У1. Появление новых технологий У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.		

Второй этап – выявим соответствие сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды. Интерактивные матрицы проекта представлены в таблицах 4, 5, 6, 7.

Таблица 10 - Интерактивная матрица возможностей и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	+	+
	B2	+	0	+	+
	B3	+	-	+	0

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и возможности: B1C1, B1C2, B1C3, B1C4, B2C1, B2C3, B2C4, B3C1, B3C2, B3C3.

Таблица 11- Интерактивная матрица возможностей и слабых сторон проекта

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	+	-	0
	B2	+	-	+
	B3	+	0	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и возможности: B1Сл1, B1Сл2, B2Сл1, B2Сл2, B2Сл3, B3Сл1, B3Сл3.

Таблица 12- Интерактивная матрица угроз и сильных сторон проекта

Сильные стороны проекта					
Угрозы проекта		C1	C2	C3	C4
	Y1	+	0	+	+
	Y2	0	-	0	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие сильные сторон и угроз: Y1C1, Y1C3, Y1C4, Y2C2, Y2C4.

Таблица 13 - Интерактивная матрица угроз и слабых сторон проекта

Угрозы проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	Y1	+	+	0
	Y2	0	+	-

При анализе данной интерактивной таблицы можно выявить следующие коррелирующие слабых сторон и угроз: У1Сл1, У1Сл2, У2Сл2, У2Сл3.

Выявив соответствия сильных и слабых сторон научно исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды, можно определить потребность в проведении стратегических изменений.

Третий этап – составим итоговую матрицу SWOT-анализа (таблица 14).

Таблица 14 – SWOT – анализ

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта: С1. Наличие бюджетного финансирования. С2. Наличие опытного руководителя С3. Использование современного оборудования С4. Актуальность проекта	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Развитие новых технологий Сл2. Высокая стоимость оборудования Сл3. Отсутствие квалифицированного персонала.
Возможности: В1. Использование инновационной инфраструктуры ТПУ В2. Появление дополнительного спроса на новый продукт В3. Повышение стоимости конкурентных разработок	В1С1 – ускорение темпов разработки В1С2 – получение деталей с высокими эксплуатационными свойствами. В1С3 – получение качественных образцов В1С4 – интерес у многих компаний В2С1 – ускорение темпов разработки В2С3 – обеспечение качества В2С4 – высокий спрос на продукцию В3С1 – укрепление позиции на рынке, образование конкурентного преимущества В3С2 – поиск способов оптимизировать издержки В3С3 – снижение себестоимости	В1Сл1 – расширение линейки выпускаемой продукции В1Сл2 – аренда, а не покупка оборудования на первом этапе производства В2Сл1 - снижение цен на технологии импульсной сварки; В2Сл2 – максимальная загрузка оборудования для снижения себестоимости продукции В2Сл3 – повышение квалификации персонала, обучение, стажировки специалистов В3Сл1- сотрудничество с зарубежными профессорами и повышение квалификации персонала. В3Сл3 – привлечение к проекту студентов старших курсов для стажировки в компании

Продолжение таблицы 14

<p>Угрозы:</p> <p>У1. Появление новых технологий</p> <p>У2. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства.</p>	<p>У1С1 – развитие дополнительных направлений</p> <p>У1С3 - появление расширенной линейки продукции</p> <p>У1С4- повышение квалификации персонала т.к. тема актуальна и есть современное оборудование.</p>	<p>У1Сл1 - расширение области применения за счет развития новых технологий.</p> <p>У1Сл2 – поиск более дешевого аналогового оборудования отечественного производства</p> <p>У2Сл2 – аренда</p>
	<p>У2С2– привлечение финансирования за счет хоз.договоров с заинтересованными в исследованиях предприятий</p> <p>У2С4 – поиск инвестиций у заинтересованных в разработке компаний</p>	<p>оборудования на первом этапе производства</p> <p>У2Сл3 – привлечение иногородних специалистов или выпускников ВУЗов</p>

В результате проведенного SWOT-анализа были рассмотрены сильные и слабые стороны проекта, а реальных угроз, которые могут помешать реализации проекта выявлено не было, также возможности открывают хорошие перспективы для применения разработки в промышленности.

6.1.5 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения).

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (2)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации.

Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации представлена в таблице 15.

Таблица 15 – Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно–технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно–технического задела	5	3
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	4
4.	Определена товарная форма научно–технического задела для представления на рынок	5	4
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	3	3
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	2	1
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	5	3
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	2	3
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	5
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	2
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	3	3
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	5	3

Продолжение таблицы 15

14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	4	3
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	5	4
ИТОГО БАЛЛОВ		61	50

Таким образом, разработка считается перспективной, а знания разработчика выше среднего. Возможно привлечение в работу эксперта по проведению процедуры оценки уровня профессиональных компетенций сотрудников, осуществляющих контрольно-надзорные мероприятия.

6.1.6 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

Задача данного раздела магистерской диссертации – это выбор метода коммерциализации объекта исследования и обоснование его целесообразности.

Методом коммерциализации результатов научно-технического исследования является – передача интеллектуальной собственности в уставной капитал предприятия.

Заинтересованными лицами в полученных данных являются сотрудники АО "НПЦ"Полус". Данный режим сварки тестируется на рабочих колесах вентилятора. Так же заинтересованными лицами будут являться сотрудники авиастроительных предприятий, так как это позволит им сократить время изготовления конструкций из сплавов на основе алюминия и уменьшит количество брака.

6.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего. В рамках процессов инициации определяются изначальные

цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта [54].

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать [54].

Устав научного проекта бакалаврской работы имеет структуру, представленную ниже [54].

Цели и результат проекта. Информацию по заинтересованным сторонам проекта представлена в таблице 16.

Таблица 16 - Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Авиационная	Получение технологии сварки алюминиевых сплавов
Машиностроение	
Приборостроение	
Химическая	

В таблице 17 представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 17 - Цели и результат проекта

Цели проекта:	Разработка технологии для сборки и сварки рабочего колеса вентилятора с применением импульсного режима сварки
Ожидаемые результаты проекта:	Получение более качественных соединений с меньшими пластическими деформациями
Требования к результату проекта:	Требование:
	Выполнение поставленных задач

Продолжение таблицы 17

	Научное объяснение результатов экспериментов
	Заклучение о результатах исследования

Организационная структура проекта. Информация об участниках проекта представлена в табличной форме (таблица 18).

Таблица 18 - Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции
1	Князьков А.Ф., к.т.н., доцент ИШНКБ ТПУ	Руководитель	Отвечает за реализацию, координирует деятельность участников проекта
2	Дворников ., магистрант ИШНКБ ТПУ	Исполнитель	Выполнение экспериментальной части

Ограничения и допущения проекта. Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта.

Таблица 19- Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
3.1. Бюджет проекта	
3.1.1.Источник финансирования	Финансовой поддержке государственного задания Министерства образования и науки РФ на проведение научно-исследовательских работ ТПУ № 862
3.2. Сроки проекта:	
3.2.1. Дата утверждения плана управления проектом	—
3.2.2. Дата завершения проекта	30.05.2019 г.

В данном разделе были определены основные цели и ожидаемые результаты от разработок, обозначены сроки завершения проекта и назначены главные участники.

6.3 Планирование управления проектом

6.3.1 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить линейный график выполнения проекта. Линейный график представляется в виде таблицы (таблица 20).

Таблица 20 - Распределение этапов работы

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Создание темы проекта	1	Составление и утверждение темы проекта	Научный руководитель
	2	Анализ актуальности темы	
Выбор направления исследования	3	Поиск и изучение материала по теме	Студент
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, студент
	5	Календарное планирование работ	
Теоретические исследования	6	Изучение литературы по теме	Студент
	7	Подбор нормативных документов	
	8	Изучение установки	
Практические исследования	9	Сварка контрольных образцов исследуемыми методами.	Студент
	10	Изучение результатов проведенной сварки	
Оценка полученных результатов	11	Анализ результатов	Научный руководитель, студент
	12	Выводы по цели	Научный руководитель, студент

В первую очередь определяется полный перечень проводимых работ, а также продолжительность на каждом этапе. В результате планирования формируется график реализации проекта. Для построения работ необходимо соотнести соответствующие работы каждому исполнителю.

6.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Работа над ВКР проводилась с 12 января 2019 года по 30 мая 2019 года. В итоге, при пятидневной рабочей неделе с учетом выходных и праздничных дней получается 99 рабочих дней.

Трудоемкость работ определяется по сумме трудоемкости этапов работ, оцениваемых экспериментальным путем в человеко-днях. Она носит вероятностный характер, так как зависит от множества трудно учитываемых факторов. Поэтому для определения ожидаемой продолжительности работ $t_{ож}$ используется метод вероятностных оценок длительности работ. Он основан на использовании трех оценок

$$t_{ож} = \frac{t_{min} + 4t_{нв} + t_{max}}{6}, \quad (3)$$

где t_{min} – кратчайшая продолжительность заданной работы (оптимистическая оценка),

t_{max} – самая большая продолжительность работы (пессимистическая оценка),

$t_{нв}$ – наиболее вероятная продолжительность работы.

Для оценки трудоемкости необходимо разработать перечень работ.













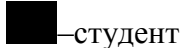

Выбор комплекса работ при разработке проекта производится в соответствии с ГОСТ 19.102-77 устанавливающего стадии разработки. Перечень комплекса работ приведен в таблице 21.

Таблица 21 – Временные показатели проведения научного исследования

№ Работ	Вид работ	Исполнители	Трудоемкость работ			Длительность работ в рабочих днях	Длительность работ в календарных днях
			t_{\min}	t_{\max}	$t_{\text{ож}}$	t_p	t_k
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	3	1,8	2	4
2	Выдача задания на тему	Руководитель	1	3	1,8	2	4
3	Постановка задачи	Руководитель	1	3	1,8	2	4
4	Определение стадий, этапов и сроков разработки	Руководитель Студент	2	6	3,6	2	4
5	Поиск и изучение материалов по теме	Студент	7	14	9,8	10	20
6	Анализ существующего опыта	Студент	4	8	5,6	6	10
7	Подбор нормативных документов	Студент	4	8	5,6	6	10
8	Согласование полученных данных с руководителем	Руководитель Студент	2	12	6	3	6
9	Разработка технологической документации	Студент	3	6	4,2	4	7
10	Оценка эффективности полученных результатов	Студент	2	4	2,8	3	6
12	Работа над выводом	Студент	1	4	2,2	3	6
13	Составление пояснительной записки	Студент	1	4	2,2	3	6
Руководитель							12
Студент							87

Таким образом, общая длительность работ в календарных днях (руководителя – 12 дн., инженера – 87 дн., совместной работы – 10 дн.) равна 99 дн. На основании таблицы 6.19 строим календарный план-график, который отражает длительность исполнения работ в рамках проектной деятельности (таблица 22).

Таблица 22 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

№ Ра-бот	Вид работ	Исполнители	Т _{ки} , кал. дн.	Продолжительность выполнения работ								
				март			апрель			май		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	4									
2	Выдача задания на тему	Руководитель	4									
3	Постановка задачи	Руководитель	4									
4	Определение стадий, этапов и сроков разработки	Руководитель Студент	4									
5	Поиск и изучение материалов по теме	Студент	20									
6	Анализ существующего опыта	Студент	10									
7	Подбор нормативных документов	Студент	10									
8	Согласование полученных данных с руководителем	Руководитель Студент	6									
9	Разработка технологической документации	Студент	7									
10	Оценка эффективности полученных результатов	Студент	6									
12	Работа над выводом	Студент	6									
13	Составление пояснительной записки	Студент	6									
 – студент;  – руководитель.												

6.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением.

Определение затрат производится путем составления сметы затрат на разработку технологического процесса. Смета затрат состоит из прямых и накладных расходов, которые включают в себя следующие статьи:

- статья 1 – материальные затраты НТИ;
- статья 2 – затраты на специальное оборудование для научных работ;
- статья 3 - основная заработная плата исполнителей темы;
- статья 4 – дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- статья 5 – отчисления во внебюджетные фонды;
- статья 6 - накладные расходы.

6.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Перечень стоимости сварочного оборудования и материалов необходимых для данной разработки приведены в таблице 23.

Таблица 23 – Материальные затраты

Наименование	Ед. изм	Кол-во	Цена за ед., руб	Затраты на материалы, руб.
Универсальная горелка TIG WP26	шт	1	3020	3020
Газовый баллон	шт	1	8000	8000
Редуктор	шт	1	1500	1500
Газовые шланги	шт	1	1000	1000
Кабель соединительный 10 м	шт	1	2700	2700
Зажим на деталь с кабелем 5 м	шт	1	300	300
Кулер	шт	1	450	450
Сварочная проволока	кг	5	200	2000
Алюминиевые сплавы	кг	10	500	5000
Итого				19470

Из затрат на материальные ресурсы, включаемых в себестоимость продукции, исключается стоимость возвратных отходов.

6.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данном разделе рассмотрены затраты на приобретение специального оборудования (сварочного и компьютерного). Стоимость оборудования указана в таблице 24.

Таблица 24 – Стоимость специального оборудования

Наименование	Кол- во	Цена ед., руб.	Сумма, руб.
Инверторный сварочный аппарат TRITON ALUTIG 200P AC/DC	1	66800	66800
Затраты на доставку и монтаж	1	10020	10020
Итого			76820

Затраты на доставку и монтаж составляют 15% от общей цены оборудования.

$$C_{д.м.} = 0,15 \cdot C_{ОБЩ} = 0,15 \cdot 66800 = 10020 \text{ руб.} \quad (4)$$

где $C_{д.м.}$ – затраты на доставку и монтаж, руб,

$C_{ОБЩ}$ – затраты на оборудование, руб.

В данном разделе были определены общая стоимость специального оборудования для выполнения проекта, она составила 66800 руб., плюс затраты на доставку и монтаж 10020 руб., общие затраты в этом случае равны 76820 руб.

Амортизационные отчисления определим по формуле:

$$C_A = \sum_{i=1}^n \frac{Ц_B \cdot H_A \cdot g \cdot t}{\Phi_{ЭФ}}, \quad (5)$$

где n – количество видов единиц оборудования,

$Ц_B$ – балансовая стоимость i -го вида оборудования,

H_A – норма годовых амортизационных отчислений для оборудования,

g – количество единиц i -го вида оборудования,

t – время работы i -го вида оборудования, час,

$\Phi_{\text{эф}}$ – эффективный фонд времени работы оборудования, час.

Эффективный фонд времени работы оборудования определяется по формуле:

$$\Phi_{\text{эф}} = D \cdot H_3, \quad (6)$$

где D – количество рабочих дней в году,

H_3 – норматив среднесуточной загрузки.

$$\Phi_{\text{эф}} = 246 \cdot 8 = 1968 \text{ час.}$$

В нашем случае при разработке использовалось две единицы оборудования – компьютер и сварочный аппарат. Балансовая стоимость сварочного аппарата - $C_b = 66800$ руб. Количество сварочных аппаратов $g = 1$. Время работы за сварочным аппаратом $t = 8$ часов. Норма годовых амортизационных отчислений для сварочного аппарата $H_A = 20\%$.

Тогда амортизационные отчисления на разработку проекта составят:

$$C_A = \frac{76820 \cdot 0,2 \cdot 1 \cdot 8}{1968} = 63 \text{ руб.}$$

В данном разделе были определены амортизационные отчисления со сварочного аппарата TRITON ALUTIG 200P AC/DC.

6.4.3 Расчет фонда заработной платы

Заработная плата определяется в соответствии с количеством отработанного времени по теме и установленным штатно-должностным окладом [54]. Для техника (дипломника) месячный оклад составляет $З_{\text{бт}} = 7000$ руб/мес, для руководителя (доцента с ПКГ ППС 3) - $З_{\text{бп}} = 26300$ руб/мес.

Заработная плата рассчитывается по формуле [54]:

$$C_{\text{зп}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}, \quad (7)$$

где $З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата;

$З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) рассчитывается по следующей формуле [54]:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}}, \quad (8)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

$T_{\text{р}}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.;

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневную заработную плату можно рассчитать по формуле 9, [54]:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}}}{T}, \quad (9)$$

где $Z_{\text{м}}$ – месячный должностной оклад работника, руб.;

T – количество рабочих дней в месяце. Принимаем 6- дневную рабочую систему, значит $T=26$ дней.

Месячный должностной оклад работника [54]:

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot k_{\text{р}}, \quad (10)$$

где $Z_{\text{б}}$ – базовый оклад, руб.;

$k_{\text{р}}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Теперь рассчитываем месячную заработную плату работников проекта:

$$Z_{\text{мт}} = 7000 \cdot 1,3 = 9100 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{мп}} = 26300 \cdot 1,3 = 34190 \text{ руб.}$$

Определяем среднедневную заработную плату:

$$Z_{\text{дн.т}} = \frac{9100}{26} = 350 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{дн.п}} = \frac{34190}{26} = 1315 \text{ руб.}$$

Основную заработную плату определим с допущением, что на данный проект его работники затратили 99 полных рабочих дней (8 часов в день):

$$Z_{\text{осн.т}} = 350 \cdot 99 = 34650 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{осн.п}} = 1315 \cdot 99 = 130185 \text{ руб.}$$

Результаты расчета фонда заработной платы представлены в таблице 25.

Таблица 25 - Фонд заработной платы

Исполнитель	Число исполнителей	Трудоемкость выполнения работы Тисп, д	Заработная плата по тарифной ставке руб./мес.	Среднедневная заработная плата, руб	Основная заработная плата исполнителя ЗПосн, руб.	Месячный должностной оклад, руб
Дипломник (техник)	1	99	7000	350	34650	9100
Руководитель (доцент)	1	99	26300	1315	130185	34190
Итого:	2	198			164835	

В данном разделе были определены затраты на фонд заработной платы, который равен 164835 рублей.

6.4.4 Расчет дополнительной заработной платы

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15 % от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы [54]:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} , \quad (11)$$

где $З_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной зарплат;

$З_{\text{осн}}$ – основная заработная плата, руб.

Принимаем коэффициент дополнительно зарплат равным 0,1 и получаем:

$$З_{\text{доп.т}} = 0,1 \cdot 34650 = 3465 \text{ руб.};$$

$$З_{\text{доп.п}} = 0,1 \cdot 130185 = 13019 \text{ руб.};$$

В данном разделе был сделан расчет дополнительной заработной платы. Итоговая сумма дополнительной заработной платы участников проекта равна 16484 рублей.

6.4.5 Расчет отчислений во внебюджетные фонды

Также необходимо рассчитать отчисления во внебюджетные фонды (социальные нужды) по формуле 12 [54]:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (12)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.). Принимаем $k_{\text{внеб}}=0.302$.

Отчисления с основной заработной платы:

$$C_{\text{внеб.т}}=0,302 \cdot 164835=49780 \text{ руб.}$$

Отчисления с основной дополнительной заработной платы:

$$C_{\text{внеб.п}}=0,302 \cdot 16484=4978 \text{ руб.}$$

В данном разделе был сделан расчет отчислений во внебюджетные фонды. Итоговая сумма отчислений равна 54758 рублей.

6.4.6 Расчет накладных расходов

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot \left(\frac{C_{\text{мат}}}{7} \right), \quad (13)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Накладные расходы составляют 16 % от суммы основной и дополнительной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнение темы.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле 6.13 [54]:
 где $k_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов. Принимаем $k_{\text{накл}}=0.16$.

$$C_{\text{накл.т}}=0,16 \cdot (19470+63+164835+16484+54758)/7=5843 \text{ руб.}$$

В данном разделе был сделан расчет накладных расходов.

6.4.7 Формирование бюджета затрат НТИ

Расчет сметы затрат на разработку приведены в таблице 26.

Таблица 26 – Смета затрат на разработку технологического процесса

Статья затрат	Сумма затрат, руб.
Материальные затраты НТИ	19470
Амортизационные отчисления	63
Основная заработная плата	164835
Дополнительная заработная плата	16484
Отчисления во внебюджетные фонды	54758
Накладные расходы	5843
Итого	261453

В данном разделе были определены основные источники расходов для реализации данного проекта. Всего потребуется 261453 рублей.

6.5 Определение ресурсной финансовой и бюджетной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. В нашем исследовании мы можем рассчитать интегральный показатель ресурсоэффективности.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом [54]:

$$I_m = \sum_{i=1}^n a_i b_i, \quad (14)$$

где I_m – интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов;

a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, которая приведена ниже. В текущем исследовании применялась ручная аргонно-дуговая сварка на переменном токе импульсной дугой.

В качестве аналогов рассмотрим ручную сварку на переменном токе (аналог 1) и ручную дуговую сварку постоянным токе обратной полярности (аналог 2).

Таблица 27 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Сложность постановки эксперимента	0.4	5	4	4
2. Удобство в эксплуатации	0.1	4	3	2
3. Энергосбережение	0.15	4	3	3
4. Безопасность	0.15	5	4	4
5. Стоимость эксперимента	0.2	3	3	5
Итого	1			

По формуле 14 и данным таблицы 27 рассчитаем интегральный показатель ресурсоэффективности.

$$I_m^p = 0.4 \cdot 5 + 0.1 \cdot 4 + 0.15 \cdot 4 + 0.15 \cdot 5 + 0.2 \cdot 3 = 4,35;$$

$$I_m^{a1} = 0.4 \cdot 4 + 0.1 \cdot 3 + 0.15 \cdot 3 + 0.15 \cdot 4 + 0.2 \cdot 3 = 3,55;$$

$$I_m^{a2} = 0.4 \cdot 4 + 0.1 \cdot 2 + 0.15 \cdot 3 + 0.15 \cdot 4 + 0.2 \cdot 5 = 3,85.$$

Из расчётов наглядно видна ресурсоэффективность технологического процесса ручной аргонно-дуговой сварки на переменном токе импульсной дугой, по сравнению с другими способами сварки.

Выводы

Проведен технико–экономический анализ усовершенствования технологии сварки ручной аргонно-дуговой сварки на переменном токе импульсной дугой алюминиевых сплавов.

В результате проведенного FAST-анализа были выявлены слабые стороны инверторный сварочный аппарат TRITON ALUTIG 200P AC/DC, редуктор, газовые шланги, кабель соединительный 10 м, оптимизация которой приведет к уменьшению стоимости проекта и увеличению его эффективности.

В качестве оптимизации данных функций можно выделить следующее:

- 1) оптимизация параметров надежности;
- 2) использование новых заготовок и материалов;
- 3) замена комплектующих на более дешевые отечественные аналоги;
- 4) унификации сборочных единиц и деталей.

В результате проведенного SWOT-анализа были рассмотрены сильные и слабые стороны проекта, а реальных угроз, которые могут помешать реализации проекта выявлено не было, также возможности открывают хорошие перспективы для применения разработки в промышленности.

Сделан расчет бюджета научного исследования в который вошли расходы на материалы и оборудование, а также сумма заработной платы участников проекта. Итоговый бюджет проекта составляет 261453 руб.

По оценке ресурсоэффективности проекта, можно сделать выводы, что она выше для технологического процесса ручной аргонно-дуговой сварки на переменном токе импульсной дугой, по сравнению с другими способами сварки.

7 Социальная ответственность

Объектом исследования данной работы является устранение перегрева тонкой детали при сварке разнотолщинных деталей, при аргонодуговой сварке неплавящимся электродом. Для решения вопроса необходимо оборудованное помещение для ведения сборочных и сварочных работ, так же нужно иметь необходимое оборудование и оснастку для ведения сварочных работ: сборочно-сварочный стенд, источник питания для сварки TETRIX 300 AC/DC SYNERGIC activArc, баллоны с защитным газом (аргоном).

В этом разделе будут рассматриваться вопросы, связанные с техникой безопасности и охраной труда в лаборатории, правила эксплуатации помещения, как при возникновении опасной ситуации, так и при ЧС. А также будет проведен анализ вредных и опасных факторов и их воздействие на человека, что позволит определить средства индивидуальной и коллективной защиты, и решить вопросы обеспечения безопасности в целом, как для помещения, так и для организации в целом.

7.1 Производственная безопасность

Рабочим местом является отдельное помещение (сварочный участок). Так как данное помещение находится внутри здания, на работающего возможны действия следующих вредных и опасных факторов: монотонный режим работы, отклонение показателей микроклимата, недостаточная освещенность, превышение уровня шума, повышенный уровень ультрафиолетовой радиации, поражение электрическим током, пожар. Воздействие вредных производственных факторов на работающих может привести к заболеванию и снижению производительности труда [1].

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при выполнении сварочных работ.

Для минимизации воздействия вредных и опасных факторов необходимо более подробно их анализировать и предложить средства коллективной и индивидуальной защиты.

7.1.1 Анализ вредных и опасных факторов, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования

При организации рабочего места, следует принять во внимание тот факт, что качество и производительность труда, зависят от существующих на данном рабочем месте условий труда и соответствия этих условий установленным нормам. Организация рабочего места заключается в выполнении ряда мероприятий, обеспечивающих рациональный и безопасный труд и должна соответствовать [2].

1. Микроклимат производственных помещений - это климат внутренней среды данных помещений, который определяется совместно действующими на организм человека температурой, относительной влажностью и скоростью движения воздуха, а также температурой окружающих поверхностей [3,4].

Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны должны соответствовать [4]. Оптимальные и допустимые нормы температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха приведены в таблице 28.

Таблица 28– Оптимальные и допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне производственных помещений по [4]

Период года	Температура, °С					Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптим альная	Допустимая на рабочих местах				Оптимальная	Допустимая, не более	Оптимальная, не более	Допустимая, не более
		Верхняя		Нижняя					
		Пост.	Не пост.	Пост.	Не пост.				
Холодный	22-24	25	26	21	18	40-60	75	0,1	0,1
Теплый	23-25	28	30	22	20	40-60	70	0,1	0,1

Оптимальные параметры микроклимата на рабочих местах соответствуют требованиям Санитарных правил и нормативов [3,4] применительно к выполнению работ различных категорий в холодный и теплый период года.

Для того чтобы создать необходимые метеорологические условия рабочей зоны и предотвратить различные переохлаждения и перегревания организма в небольших помещениях устанавливают кондиционеры. С помощью кондиционирования воздуха в закрытых помещениях можно поддерживать необходимую температуру, а также скорость движения воздуха [5].

Микроклимат производственных помещений рекомендуется поддерживать на оптимальном уровне системой водяного центрального отопления, естественной вентиляцией, а также искусственным кондиционированием и дополнительным прогревом в холодное время года.

2. Шум является общебиологическим раздражителем и в определенных условиях может влиять на органы и системы организма человека. Шум ухудшает точность выполнения рабочих операций, затрудняет прием и

восприятие информации. Длительное воздействие шума большой интенсивности приводит к патологическому состоянию организма, к его утомлению. Интенсивный шум вызывает изменения сердечнососудистой системы, сопровождаемые нарушением тонуса и ритма сердечных сокращений, изменяется артериальное кровяное давление.

Главным источником шума при проведении сварочных работ является источник питания. Методы установления предельно допустимых шумовых характеристик системы питания для сварки в динамическом режиме изложены в [7]. Для оценки шума используют частотный спектр измеряемого уровня звукового давления, выраженного в децибелах, который сравнивают с предельным спектром.

Для снижения шума в помещениях используют средства звукоизоляции и звукопоглощения, устанавливают глушители шума и рационально продумывают технологию производства с использованием малошумных технологических процессов. Также в качестве индивидуальных средств защиты от шума применяют различные противозумные наушники, вкладыши, шлемы, каски и костюмы [6].

На сварочном участке, на котором ведутся сварочные работы, главным источником шума является источник питания, который по характеру спектра является широкополосным.

Уменьшение влияния данного фактора возможно путём: изоляции источников шумов; проведение акустической обработки помещения; создание дополнительных ДВП или ДСП изоляционных перегородок; проведение профилактических работ.

3. Рациональное освещение имеет большое значение для высокопроизводительной и безопасной работы. Нормирование значений освещенности рабочей поверхности при сварочных работах составляет 200 лк согласно [8], так как наблюдение за процессом сварки происходит через защитную маску. В разделе 7.1.2 приведен расчет искусственного освещения.

Недостаточная освещенность может быть вызвана ошибочным расположением ламп в помещении, отсутствием окон в помещении, не правильным выбором количества осветительных приборов и не рациональной загрузкой на них электрического тока. Данный фактор может стать причиной неадекватного восприятия человека технологического процесса, его утомления, а также вызвать пульсирующие головные боли.

Для производственных помещений, а также научно-технических лабораторий коэффициент пульсаций освещенности (K_p) должен быть не больше 10%.

В целях уменьшения пульсаций ламп, их включают в разные фазы трехфазной цепи, стабилизируют постоянство прохождения в них переменного напряжения. Но самым рациональным решением данного вредного факторы является изначально правильное расположение и подключение источников света в помещении, путем замеров освещенности, при помощи люксметра, и сравнения полученных результатов с нормативными документами [6].

4. При работе с источниками питания может произойти поражение электрическим током. Все оборудование должно быть выполнено в соответствии с требованиями [9]. Основными причинами поражения электрическим током могут послужить следующие факторы: прикосновение к токоведущим частям или прикосновение к конструктивным частям, оказавшимся под напряжением. С целью исключения опасности поражения электрическим током необходимо соблюдать следующие правила электрической безопасности:

- перед включением установки должна быть визуально проверена ее электропроводка на отсутствие возможных видимых нарушений изоляции, а также на отсутствие замыкания токопроводящих частей держателей электродов;
- при появлении признаков замыкания необходимо немедленно отключить от электрической сети установку.

К защитным мерам от опасности прикосновения к токоведущим частям электроустановок относятся: изоляция, ограждение, блокировка, пониженные напряжения, электрозащитные средства.

Среди распространенных способов защиты от поражения электрическим током при работе с электроустановками различают [6]:

- защитное заземление – предназначено для превращения «замыкания на корпус» в «замыкание на землю», с тем, чтобы уменьшить напряжение прикосновения и напряжение шага до безопасных величин (выравнивание самый распространенный способ защиты от поражения электрическим током;
- зануление – замыкание на корпус электроустановок;
- системы защитного отключения – отключение электроустановок в случае проявления опасности пробоя на корпус;
- защитное разделение сетей;
- предохранительные устройства.

К работам на электроустановках допускаются лица, достигшие 18 лет, прошедшие инструктаж и обученные безопасным методам труда. К тому же электробезопасность зависит и от профессиональной подготовки работников, сознательной производственной и трудовой дисциплины. Целесообразно каждому работнику знать меры первой медицинской помощи при поражении электрическим током.

5. Вредные вещества в воздухе в виде паров, газов и аэрозолей (пыли) - химические вещества, вызывающие в производственных условиях нарушение нормальной жизнедеятельности организма, являющиеся причиной острых и хронических интоксикаций.

Вредными основными веществами, выделяющимися при сварке сталей, являются: окись углерода, хром, марганец и фтористые соединения.

В таблице 29 представлены классы опасностей вредных веществ выделяющихся при сварке сталей согласно [2].

Таблица 29 – Классы опасностей вредных веществ выделяющихся при сварке сталей

Вещество	ПДК, мг/м ³	Класс опасности	Состояние
Марганец	0,05	1	аэрозоли
Хром	0,1	1	аэрозоли
Фтористые соединения	0,5	2	аэрозоли
Окись углерода	20	4	пары или газы

Для защиты и удаления вредных газов и пыли с мест сварки и подачи чистого воздуха используют вентиляцию. Общая вентиляция бывает приточно-вытяжной. Свежий воздух обычно подают в цех через общецеховую вентиляционную установку, а загрязненный воздух удаляют из цеха общецеховой вентиляцией, а также местными устройствами.

Местная вытяжная вентиляция, удаляя вредные вещества из помещения, должна препятствовать их попаданию в зону дыхания рабочего. Местное удаление вредных веществ можно считать удовлетворительно работающим, когда он удаляет вредности по принципу «от рабочего» [2].

Нередко источник выделения вредных веществ укрывают зонтом, под которым находится рабочий, что совершенно недопустимо, так как через зону дыхания в этом случае проходят все вредные вещества. Поэтому, на рабочих местах в зоне сварки нужно установить аппаратуру с отсасывающим поворотным рукавом.

Сварочные участки, сообщающиеся проемами со смежными помещениями, где не проводится сварка, должны иметь вытяжную вентиляцию с механическим побуждением.

В специальных помещениях или металлических шкафах для хранения баллонов со сжиженным газом должна быть предусмотрена естественная вентиляция через верхние и нижние части помещений или шкафов.

Скорость движения воздуха, создаваемая местными отсосами у источников выделения вредных веществ, должна соответствовать нормам, приведенным в таблице 30.

Таблица 30 – Скорость движения воздуха, создаваемая отсосами у источников выделения вредных веществ

Процесс сварки	V, м/с
Сварка ручная	$\geq 0,5$
Механизированная сварка в среде CO ₂	$\geq 0,3$

Количество вредных веществ, локализуемых местными отсосами, составляет для вытяжных шкафов не более 90%, а для местных отсосов других видов не более 75%. Оставшееся количество вредных веществ (10-20%) должно разбавляться до ПДК с помощью общеобменной вентиляции.

7.1.2 Расчет искусственного освещения

Произведем расчеты количества и мощности светильников, установленных в помещении. При расчете системы искусственного общего равномерного освещения для горизонтальной рабочей поверхности применим метод использования коэффициента светового потока.

Расчет искусственного освещения проведен для помещения с указанными габаритами: длина $A = 5$ м, ширина $B = 4$ м, высота $H = 2.5$ м, высота рабочей поверхности $h_{rp} = 0.8$ м, требуется создать освещенность $E = 400$ лк, коэффициент отражения стен $\rho_c = 30$ %, потолка $\rho_n = 70$ %, коэффициент запаса $K_z = 1.5$, коэффициент неравномерности $Z = 1.1$.

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения:

Размещение светильников в помещении определяется следующими размерами, м:

H – высота помещения;

h_c – расстояние светильников от перекрытия (свес);

$h_n = H - h_c$ – высота светильника над полом, высота подвеса;

h_p – высота рабочей поверхности над полом;

$h = h_n - h_p$ – расчётная высота, высота светильника над рабочей поверхностью.

L – расстояние между соседними светильниками или рядами.

l – расстояние от крайних светильников или рядов до стены.

Примем $h_c = 0.05$ м, тогда

$$h_n = H - h_c, \quad (15)$$

$$h_n = 2.5 - 0.05 = 2.45 \text{ м},$$

$$h = h_n - h_p, \quad (16)$$

$$h = 2.45 - 0.8 = 1.65 \text{ м},$$

Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является табличная величина $\lambda = L/h$. Для нашего светильника она равна 1.1.

Расстояние между светильниками L определяется как :

$$L = \lambda h, \quad (17)$$

$$L = 1.1 \times 1.65 = 1,8 \text{ м},$$

Примем расстояние между светильниками 1,8 м

Тогда:

$$l = L/3, \quad (18)$$

$$l = 1.8 / 3 = 0,6 \text{ м},$$

Устанавливаем 2 светильника типа АОД -2-40 мощностью 40 Вт (с длиной 0,945м), при этом расстояние между светильниками составит около 2 м. Изображаем план помещения и размещения на нем светильников (рисунок 9.1). Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 4$.

Находим индекс помещения:

$$i = \frac{S}{2 \times (a+b)}, \quad (19)$$

$$i = \frac{20}{2 \times (5+4)} = 1.1,$$

Коэффициент использования светового потока находим по таблице:

$$\eta = 46$$

Определяем световой поток лампы:

$$\Phi = \frac{E \times k \times S \times Z}{S \times \eta}, \quad (20)$$

$$\Phi = \frac{400 \times 20 \times 1.5 \times 1.1 \times 100}{20 \times 46} = 1435,$$

Φ – световой поток лампы;

E – освещенность, лк;

k – коэффициент запаса;

S – освещаемая площадь, м²;

z – коэффициент неравномерности;

η – коэффициент использования светового потока.

По табл. Выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛД – 40 Вт с потоком 2500 лм.

Необходимый поток светильника не выходит за пределы диапазона.

От –10% до + 20%

Определяем электрическую мощность осветительной системы:

$$P = N \times P_{\text{л}}, \quad (21)$$

$$P = 4 \times 40 = 160 \text{ Вт},$$

$P_{\text{л}}$ – мощность одной лампы, Вт;

N – общее число ламп.

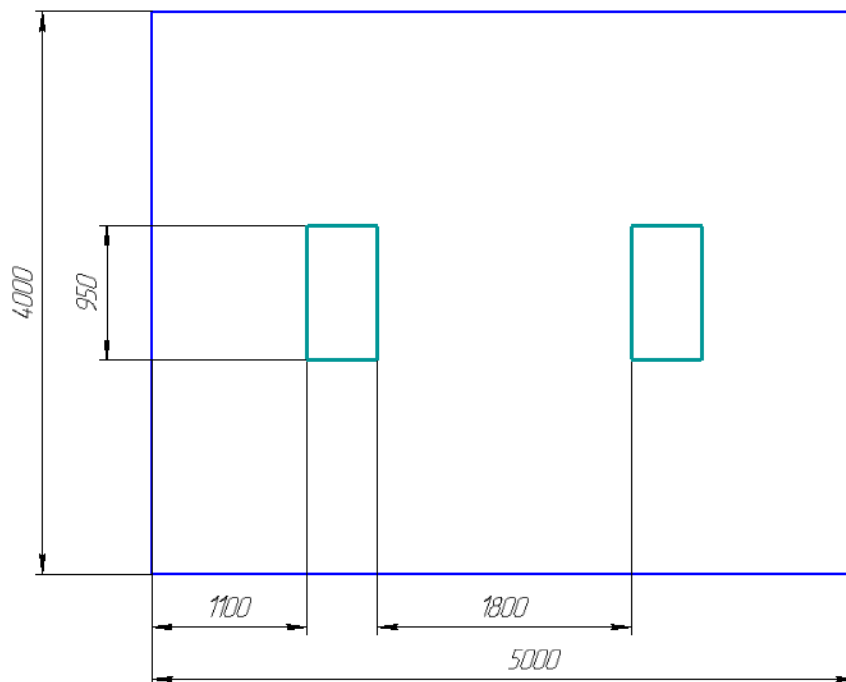


Рисунок 31 – план помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

7.2 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Охрану природы можно представить как комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование природы.

7.2.1 Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду

При выполнении сварочных работ атмосферный воздух загрязняется сварочным аэрозолем, в составе которого в зависимости от вида сварки, марок электродов и флюса находятся вредные для здоровья оксиды металлов (железа, марганца, хрома, ванадия, вольфрама, алюминия, титана, цинка, меди, никеля и др.), а также газообразные соединения (фтористые, оксиды углерода и азота, озон и др.). Для определения влияния на окружающую среду загрязняющих веществ необходимо воспользоваться [10], в котором приведены удельные показатели и их допустимые пределы (таблица 32).

Таблица 32 – Удельные показатели выделения загрязняющих веществ при сварке и наплавке металлов

Технологический процесс	Используемый материал и его марка	Наименование и удельные количества выделяемых загрязняющих веществ, г/кг					
		Сварочный аэрозоль	Озон	Пыль неорганическая SiO ₂	Оксид алюминия	Оксид магния	Оксид вольфрама
Ручная электрическая сварка алюминиево-магниевых сплавов в среде инертных газов	Вольфрамовый электрод	4,8	0,8	0,6	2	0,8	1,4

Значения показателей находятся в допустимых пределах. Значительного влияния на атмосферу процесс не оказывает, а следовательно и мероприятия по защите окружающей среды не предусматривает.

При ведении сварочных работ возможны следующие отходы: использованные электроды, остатки присадочных материалов, которые в ходе их непригодности выкидываются в мусорное ведро, а затем и в мусорный контейнер. Следовательно, вредных выбросов в литосферу и водные источники не производилось, радиационного заражения не произошло, чрезвычайные ситуации не наблюдались, поэтому существенных воздействий на окружающую среду и соответственно вреда природе не оказывалось.

7.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

7.3.1 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть на рабочем месте при проведении исследования

При проведении исследования могут возникнуть чрезвычайные ситуации, такие как пожар и поражение электрическим током.

Пожарная безопасность – состояние объекта, при котором исключается возможность пожара, а в случае его возникновения предотвращается воздействие на людей опасных его факторов и обеспечивается защита материальных ценностей.

Противопожарная защита – это комплекс организационных и технологических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожаров.

Пожарная безопасность обеспечивается системой предотвращения пожара и системой пожарной защиты. Во всех служебных помещениях обязательно должен быть «План эвакуации людей при пожаре», регламентирующий действия персонала в случае возникновения очага возгорания и указывающий места расположения пожарной техники [6].

Поражение электрическим током возникает при замыкании электрической цепи сварочного аппарата через тело человека. Причинами могут быть: недостаточная электрическая изоляция, плохое состояние спецодежды и обуви сварщика, сырость, теснота помещения и другие факторы.

7.3.2 Обоснования мероприятий по предотвращению ЧС и разработка порядка действия в случае возникновения ЧС

С целью предотвращения пожаров необходимо:

- уходя из помещения проверить отключения всех электронагревательных приборов, электроустановок, а также силовой и осветительной сети;

- курить только в отведенных для курения местах;
- в случае возникновения пожара приступить к его тушению имеющимися средствами, эвакуироваться и вызвать по телефону «01», сотовый «010» пожарную службу;
- сотрудники должны быть ознакомлены с планом эвакуации людей и материальных ценностей при пожаре. План эвакуации должен находиться в каждом помещении и на каждом этаже лестничной площадке.

В производственных помещениях проходит большое количество проводов и большое количество электроприборов. Не правильная изоляция данных проводов, или отсутствие заземления может привести к поражению человека или к возникновению возгораний.

В целях безопасности помещение оборудовано рубильниками для полного обесточивания помещения, а также изоляция проводов, защитное состояние сети и применение специальных защитных устройств (сетевые фильтры, автоматические выключатели). Осуществляется дистанционный контроль количества кислорода в окружающем воздухе с помощью автоматических или ручных приборов. Согласно нормам, в воздухе должно присутствовать не меньше 19 % кислорода [8].

В случае возникновения пожара необходимо:

- оповестить работающих в производственном помещении и принять меры к тушению очага пожара;
- горящие части электроустановок и электропроводку, находящуюся под напряжением, тушить углекислотным огнетушителем;
- принять меры к вызову на место пожара непосредственного руководителя или других должностных лиц.

План эвакуации людей со сварочного участка показан на рисунке 7.2.

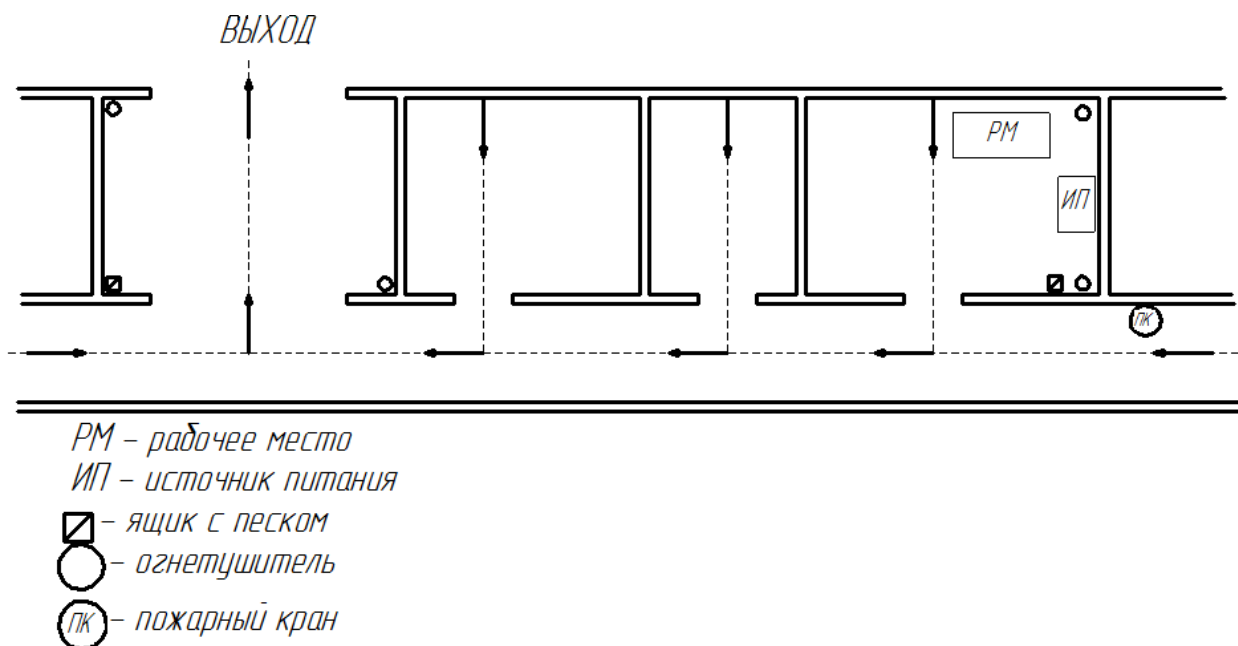


Рисунок 33 – План эвакуации при пожаре.

7.4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

7.4.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

При выполнении сварочных работ необходимо следовать требованиям ТК РФ. Для обеспечения безопасности на рабочем месте нужно проводить обязательные предварительные (при поступлении на работу) и периодические медицинские осмотры (обследования) работников, занятых на тяжелых работах и на работах с вредными и (или) опасными условиями труда.

Ведение сварочных работ предполагает использование некоторых мер предосторожности и средства индивидуальной защиты, таких как защитные костюмы, перчатки, защитные очки и маски, специальная обувь, средства защиты органов слуха.

У сотрудников, которые заняты на работах во вредных или опасных условиях, продолжительность рабочего времени сокращается на 4 часа в неделю. То есть она не должна превышать 36 часов в неделю (ч. 1 ст. 92 ТК РФ). При этом ежедневная рабочая смена при 36-часовой рабочей неделе не

может превышать 8 часов, а при рабочей неделе 30 часов и менее – 6 часов (ч. 2 ст. 94 ТК РФ).

Во избежание несчастных случаев следует проводить обучение, инструктаж по технике безопасности и проверять знания работников.

7.4.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Требования к размещению систем питания для сварки в динамическом режиме, организации рабочих мест и к производственным помещениям – в соответствии с [2].

- Рабочие места электросварщиков должны ограждаться переносными или стационарными светонепроницаемыми ограждениями (щитами, ширмами и экранами) из несгораемого материала, высота которых должна обеспечивать надежность защиты.

- Ширина проходов с каждой стороны рабочего стола и стеллажа должна быть не менее 1 м.

- Полы производственных помещений для выполнения сварки должны быть несгораемые, обладать малой теплопроводностью, иметь ровную нескользкую поверхность, удобную для очистки, а также удовлетворять санитарно-гигиеническим требованиям в соответствии с действующими строительными нормами и правилами.

- Расстояние от стены до источника питания должно быть не менее 0,5 м.

- Открытые траектории в зоне возможного нахождения человека должны располагаться значительно выше уровня глаз. Минимальная высота траектории 2,2 м.

- Рабочее место обслуживающего персонала, взаимное расположение всех элементов (органов управления, средств отображения информации, оповещения и др.) должны обеспечивать рациональность рабочих движений и максимально учитывать энергетические, скоростные, силовые и психофизиологические возможности человека.

- Следует предусматривать наличие мест для размещения съемных деталей, переносной измерительной аппаратуры, хранение заготовок, готовых изделий и др.

- Установки должны эксплуатироваться в специально выделенных помещениях либо могут располагаться в открытом пространстве на фундаментах или платформах транспортных средств.

- Помещения должны соответствовать требованиям пожарной безопасности и иметь необходимые средства предотвращения пожара и противопожарной защиты.

- Отделку помещений следует выполнять только из негорючих материалов. Не допускается применение глянцевых, блестящих, хорошо (зеркально) отражающих излучение сварочной дуги (коэффициент отражения рекомендуется не более 0.4).

- Двери помещений должны иметь знак ультрафиолетовой опасности.

- Высота помещений должна быть не менее 4.2 м. Коммуникации (вода, электроэнергия, воздух, и др.) следует прокладывать под полом в специальных каналах с защитными коробами (возвышение над уровнем пола не допускается) или подвешивать кабели на высоте не менее 2.2 м от пола.

- Помещения должны иметь приточно-вытяжную вентиляцию. При необходимости, рабочие места должны быть оборудованы местной вытяжкой с целью исключения попадания в рабочее помещение продуктов взаимодействия ультрафиолетового излучения с обрабатываемыми материалами.

Предприятие эксплуатируется и оборудуется согласно основными правовыми нормами:

- ГОСТ 12.1.003-83 (1999) ССБТ. Шум. Общие требования безопасности;

- ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (01.07.92)

- ГОСТ 12.1.038-83 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов;
- ГОСТ 12.4.125-83 ССБТ. Средства коллективной защиты работающих. Классификация;
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, и совмещенному освещению жилых и общественных зданий;
- СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
- СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов

7.4.3 Социальная защита работников на предприятии

Социальная защита – это меры, направленные на повышение производительности труда работников, стимулирование их лояльности и мотивации и обеспечение безопасного и достойного уровня жизни. Это система социальных и экономических гарантий, закреплённая законодательством. Они обеспечиваются как государством, так и предпринимателями. Данная система состоит из социального страхования, социальных услуг и социального обеспечения.

Социальное страхование является обязательным и представляет собой страхование работников от возможного изменения материального или социального положения, например, предполагая оказание материальной помощи при наступлении инвалидности, получении травм на производстве, наступлении временной нетрудоспособности.

Социальные услуги представлены такими видами поддержки, как материальная помощь при рождении или смерти родственника, оплата питания. Организации с большим штатом и высоким уровнем дохода предоставляют более широкие пакеты, например лечение работников в оздоровительно-лечебных учреждениях, имеют собственные культурные дома и спортивные комплексы.

Основные принципы эффективного механизма социальной защиты:

- социальная защита должна основываться на эффективном труде работающих и таким образом быть частью экономических отношений между работодателем и работником;
- социальная защита не должна ограничиваться одним кругом гарантий. Если повысить заработную плату, но не позаботиться о повышении квалификации способных работников, эффект может оказаться не таким заметным;
- необходимо напоминать сотрудникам об их собственной ответственности – о том, что нужно соблюдать внутриорганизационную дисциплину, вести здоровый образ жизни. Ведь лучший защитник работника – это он сам;
- социальная защита должна базироваться на самостоятельности и самозащите сотрудников. Иными словами, работник должен стремиться защитить себя сам, а не ждать извне. При этом, конечно, работодатель тоже должен не стоять на месте, а развиваться, заботясь не только об увеличении прибыли, но и о наличии в штате мотивированных, заинтересованных лиц.

Заключение

В результате проведенного исследования было определено влияние динамической дуги в импульсном режиме на сварку разностенных деталей из сплавов на основе алюминия. Отработаны методики по снятию динамической характеристики дуги и осциллограмм тока и напряжения дуги.

Установлено, что при сварке динамической дугой в импульсном режиме тепло вводится концентрировано, что значительно уменьшает зону нагрева. Это положительно сказывается при сварке разностенных деталей, проплавляя более массивную деталь, при этом не успевая перегреть более тонкую, что исключает сильные пластические деформации тонкой детали, исключая необходимость высокотемпературного отжига под нагрузкой.

Установка обеспечивает питание дуги импульсами длительность которых не превышает 80 мкс, с формой импульсов близкой к трапецеидальной.

Список использованных источников

1. Гарбер И.С. Магнитные импульсные модуляторы. – М.: Советское радио, 1964. – 159 с.
2. Dai Yuhang. Pulsed Power Supply Employing Magnetic Pulse Compression Technology // Proc. PEMC'98. – Prague, Czech Republic, 1998. – V. 2. – P. 2–185–2–188.
3. Патон Б. Е. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением. – М.: Машиностроение, 1974. – 768 с.
4. Сварка в машиностроение: Справочник в 4-х т./Редкол.: С24 Г. А. Николаев и др. – М.: Машиностроение, 1978 – Т.1 / Под ред. Н. А. Ольшанского. 1978. – 504 с.
5. Ерохин А. А. Основы сварки плавлением. Физико-химические закономерности. – М.: Машиностроение, 1973. – 448 с.
6. Походня И. И. Газы в сварных швах. – М.: Машиностроение, 1972. – 256 с.
7. ГОСТ 10157-2016 Аргон газообразный и жидкий. Технические условия.
8. Славин Г.А., Столпнер Е.А., Некоторые особенности дуги питаемой кратковременными импульсами тока.// Сварочное производство.-1967г.-№2. - С. 3-5.
9. Ющенко К.А., Коваленко Д.В., Коваленко И.В. Применение активаторов при дуговой сварке вольфрамовым электродом в инертных газах сталей и сплавов. // Автоматическая сварка. – 2001. - №7. – С. 37-43.
10. Бурдаков С.М., Чернов А.В., Полетаев Ю.В., Полежаев С.В. Физическая модель электрического дугового разряда с наложением высокочастотного напряжения. // Сварочное производство. – 2001. - №11. – С. 13-16.
11. Бертинов А.И., Мизюрин С.Р., Сериков В.А., Геворкян Р.Л. Энергетика процесса заряда конденсатора от генератора переменного тока через выпрямитель. // Электричество. – 1967. - №8.- С. 54-61.

12. Гаврикова Н.А. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: учебно-методическое пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 96 с.
13. РД 34.15.132 – 96 Сварка и контроль качества сварных соединений металлоконструкций зданий при сооружении промышленных объектов.
14. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда: учебное пособие для вузов / П.П. Кукин и др. - 5-е изд., стер. - М.: Высшая школа, 2009. - 335 с.
15. ГОСТ 12.3.003-86 Система стандартов безопасности труда. Работы электросварочные. Требования безопасности.
16. ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
17. СанПиН 2.2.4.548–96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
18. Раздорожный А.А. Охрана труда и производственная безопасность: учебно-методическое пособие/ А.А. Раздорожный. – М.: Экзамен, 2006. – 510 с.
19. Бектобеков Г.В. Справочная книга по охране труда в машиностроении / Г.В. Бектобеков, Н.Н. Борисова, В.И. Коротков [и др.]; под общ. ред. О.Н. Русака. – Л.: Машиностроение, 1989. – 541 с.
20. ГОСТ 12.1.035-81 Система стандартов безопасности труда. Оборудование для дуговой и контактной электросварки. Допустимые уровни шума и методы измерений.
21. СНиП 23-05-2010 Естественное и искусственное освещение.
22. ГОСТ 12.1.019–2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
23. ГОСТ Р 56164-2014 Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов при сварочных работах на основе удельных показателей.

Приложение А
(обязательное)

Раздел (1)
Literature Review

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ВМ71	Дворников Евгений Вячеславович		

Консультант отделения электронной инженерии ИШНКБ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЭИ	Князьков А.Ф.	к.т.н.		

Консультант – лингвист отделения иностранных языков ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Смирнова У.А.	-		

1. LITERATURE REVIEW

1.1. Specificity of welding

1.1.1 Thermal conductivity

Aluminum and its alloys have a high thermal conductivity, heat capacity and latent heat of fusion. The thermal conductivity of aluminum is three times the thermal conductivity of low carbon steel; when heated from 20 to 600 ° C, the difference in thermal conductivity increases even more.

High thermal conductivity and heat capacity of aluminum require the use of powerful heat sources, and in some cases heating. The high coefficient of linear expansion and a small modulus of elasticity contribute to the appearance of significant welding deformations which requires the use of reliable clamping devices and the elimination of deformations after welding in critical structures. In aluminum there is no plastic state during heating and transition from solid to liquid state while aluminum does not change its color and in the temperature range of more than 400–450 ° C there is a failure in strength and ductility therefore welding on linings is recommended.

A high coefficient of viscosity and fast heat dissipation hinder the formation of a seam, therefore, the necessary grooving is required. All these difficulties and features of aluminum welding require careful preparation for welding and careful adherence to welding technology.

1.1.2 The presence of oxide film

Low specific gravity (2.7 g / cm³) and melting point (660 ° C) of aluminum compared to high density of aluminum oxide Al₂O₃ (3.85 g / cm³) and its melting point (2060 ° C) impede the welding process. The refractory and heavy oxide Al₂O₃ can remain in the weld metal and reduce the performance of the welded joint. When welding aluminum and its alloys it is necessary to apply various ways of dealing with oxide Al₂O₃. In all cases the metal surface of the product must be cleaned

immediately before welding and the welding process must proceed with the protection of the molten metal from the action of air gases.

Three methods of dealing with aluminum oxide are used: welding with a solvent of oxides (electrode coatings, fluxes), welding without solvents but with the so-called cathode sputtering and welding with mechanical removal of oxides from the weld pool.

Solvents of Al_2O_3 oxide and other oxides are alkaline earth metal halide salts (chloride, lithium fluoride, etc.) which dissolve the oxides and together with them rise from the weld pool to the welding slag. Since the solution has a lower melting point, lower specific gravity and lower viscosity than each component separately it is removed from the weld metal to the welding slag.

The essence of cathode sputtering is that when arc welding in argon at a constant current with reverse polarity, the Al_2O_3 oxide film is crushed, followed by sputtering of the oxide particles on the surface of the welded product. A thin oxide film covering the weld pool is destroyed by the impacts of heavy positive ions of a protective argon gas which are formed when the arc is burning. Since a positive ion has a greater mass than an electron, the resulting flow of ions is capable of crushing the oxide films of aluminum and magnesium which are created during welding. In this case it is necessary to take into account the high velocity of the ion movement which allows the sputtered oxides to leave the welding zone through the protective gaseous medium.

Other gases with low atomic mass (for example, 4 for helium instead of 40 for argon) are not capable of crushing and spraying oxides.

The mechanical method of removing oxide Al_2O_3 from the weld pool is that the welder lowers a steel rod with a diameter of 3-4 mm into the weld pool and removes it from the oxide stuck to the surface of the rod which is easily separated from the rod by shaking and lightly hitting it. Experienced workers performing gas or arc welding with a carbon electrode often use this method without resorting to fluxes.

1.1.3 Rectifying Arc Effect

When welding with alternating current with a non-consumable electrode when the electrode materials and products differ sharply in their thermophysical properties, the rectifying effect of the arc is detected. It manifests itself in the form of a certain DC component flowing in an alternating current circuit that violates the symmetry of the voltage and current curves relative to the x-axis (Figure 1). The presence of a direct current component in the welding circuit negatively affects the quality of the welded joint and the process conditions decrease the penetration depth, the arc voltage increases, the electrode temperature rises significantly and its consumption increases. Therefore, it is necessary to apply special measures to suppress the effect of the constant component. When the inductor is turned on in the AC welding circuit a phase shift occurs between the power supply voltage and current the arc is relatively stabilized. When welding consumable electrode similar in composition to the base metal on modes that ensure stable arc burning the rectifying effect of the arc is insignificant and the current and voltage curves are almost symmetrical with respect to the x-axis.

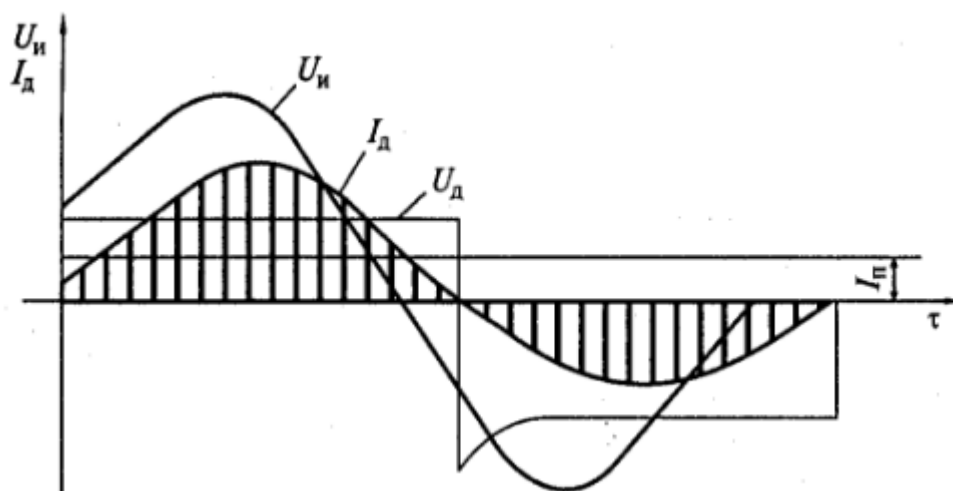


Figure 1 - The constant component of the current in the welding circuit when the arc is burning on alternating current

U_n - the voltage of the arc power source

U_a - arc voltage

I_a - arc current

I_c - the constant component of the arc current

τ – time

When welding on direct current the ignition and arc burning flow somewhat better than when welding on alternating current. However to improve the stability of the arc chokes are also included in the DC welding circuit.

1.1.4 Difficulty of ignition of the arc when changing polarity

When the arc is supplied with alternating current the polarity of the electrode and the product and the conditions for the existence of the arc discharge periodically change. The 50 Hz AC frequency arc is extinguished when the current passes through zero and the polarity reverses at the beginning and end of each half-period and is again excited 100 times per second or twice in each period. The stability of the burning of such an arc depends on how easily the re-excitation of the arc occurs in each half-period. This is determined by the course of physical and electrical processes in the arc gap and on the electrodes in the time interval between each attenuation and the new ignition of the arc. The decrease in current is accompanied by a corresponding decrease in temperature in the arc column and the degree of ionization of the arc gap. At the same time the temperature of the active spots on the anode and cathode also drops. The temperature drop slightly lags in phase when the current passes through zero which is due to the thermal inertia of the process. The temperature of the active spot located on the surface of the weld pool falls particularly intensively due to intensive heat removal to the part mass.

Following the arc attenuation, the voltage polarity (figure 2) and the direction of motion of the charged particles in the arc gap change. Under conditions of lowering the temperature of active spots and the degree of ionization of the arc gap, re-ignition of the arc at the beginning of each half-period occurs only with an increased voltage between the electrodes, called the ignition peak or the arc ignition voltage. The ignition peak is always higher than the voltage of the arc corresponding

to its stable burning mode. In this case the magnitude of the ignition peak is somewhat higher in those cases when the cathode spot is located on the base metal.

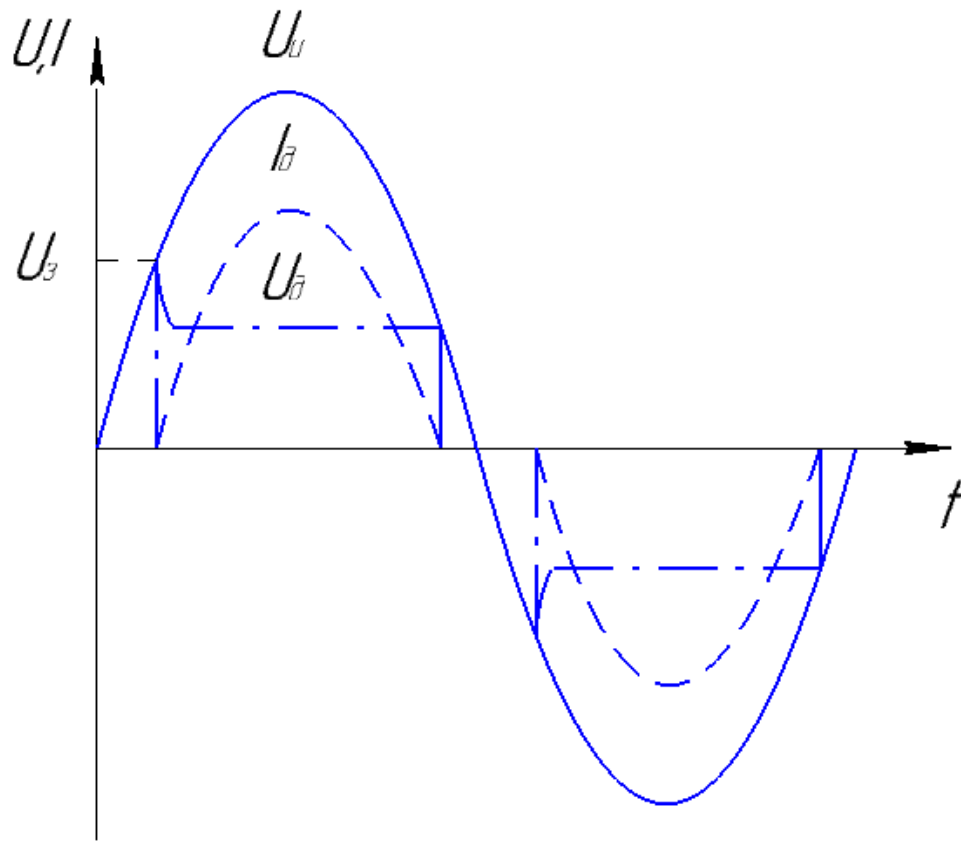


Figure 2 - polarity change when the arc is burning on alternating current

The magnitude of the ignition peak significantly affects the stability of the AC arc. Deionization and cooling of the arc gap increase with increasing arc length which leads to the need to further increase the ignition peak. All other conditions being equal breakage of an AC arc always occurs with a shorter arc length than when welding with direct current. In the presence of vapors of easily ionizing elements in the arc gap the re-ignition voltage decreases and the stability of the AC arc increases.

With increasing current strength the physical conditions of the arc are improved which also leads to a decrease in the ignition peak and an increase in the stability of the arc discharge. Thus the magnitude of the ignition peak is an important characteristic of the AC arc which has a significant impact on its stability. The worse the conditions for the re-excitation of the arc the higher should be the no-load voltage of the arc power source and the higher the ignition peak. However the increase in the

amplitude values of the sinusoid voltage is limited by the safety regulations according to which the maximum effective voltage value of the alternating current source to power the welding stations is allowed not higher than 80 V.

A common measure of stabilization of the welding arc of alternating current is the inclusion of alternating current in the welding circuits of an alternating current which allows maintaining the stability of the arc and adjusting the welding current by changing the inductive resistance.

1.1.5 Effect of hydrogen

Hydrogen, unlike other gases, has the ability to dissolve in aluminum and under certain conditions to form pores in the weld metal. The solubility of hydrogen in aluminum changes at different temperatures. The concentration of hydrogen dissolved in the metal $[H]$ depends on the pressure of molecular hydrogen in equilibrium with it.

In reality the partial pressure of molecular hydrogen in the gas phase of the arc is negligible. Therefore the main source of hydrogen dissolved in the weld pool is the reaction of the interaction of moisture contained in the oxide film with the metal. As a result of this reaction the concentration of atomic hydrogen in the surface layer of the atmosphere in contact with the metal may correspond to a large pressure of molecular hydrogen in equilibrium with the metal. Therefore in the presence of water vapor in the bath zone the concentration of hydrogen dissolved in the metal may be much more equilibrium. When cooled dissolved hydrogen tends to precipitate from the metal due to a decrease in solubility. Bubbles of hydrogen being released not having time to emerge from the bath remain in the seam forming pores. Therefore the main measure to combat porosity in aluminum welding is to reduce the concentration of hydrogen dissolved in it to a limit below $0.69\text{--}0.7 \text{ cm}^3 / 100 \text{ g}$ of metal. The main source of hydrogen that dissolves in the weld metal during argon-arc welding is moisture adsorbed by the metal surface and included in the oxide film in the form of

hydrated oxides. Its quantity is determined by the state of the metal surface and depends on its processing before welding.

Prevention of porosity in aluminum welding can be helped by reducing the specific surface of the filler wire by increasing its diameter and reducing the participation of the filler metal in the formation of the weld. Rational surface treatment of the wire and the base metal is used to reduce the thickness of the oxide film and the stock of moisture present in it. Magnesium increases the solubility of hydrogen in aluminum; therefore an increased tendency to porosity in welding aluminum-magnesium alloys is explained by another pore formation mechanism. On the surface of alloys containing magnesium there is an oxide film consisting of oxides Al_2O_3 and MgO . Such a film has a greater thickness lower density due to defects in its structure and a greater supply of moisture than the film of Al_2O_3 . In the process of welding during the melting of the main and additive metals part of the moisture contained in the internal defects of the film does not have time to react. The particles of the film entering the bath contain residual moisture which decomposes with evolution of hydrogen. The formed hydrogen in the film defects passes into the molecular form and then is released in the liquid metal of the bath in the form of bubbles, bypassing the dissolution stage. With such a mechanism for the formation of pores as measures of reducing porosity in addition to the usual ones associated with the use of rational surface treatment of the wire and base metal as well as reducing the specific surface of the wire involved in the formation of a seam toughening regimes becomes an effective measure to combat porosity. However with tougher regimes there is a danger of increasing the pressure of hydrogen in the discontinuities which makes it difficult to perform multilayer seams and jelly.

1.2 Welding methods

1.2.1AC

An important aspect of the characteristics of aluminum is its corrosion resistance guaranteed by a microscopic layer of aluminum oxide which forms on the surface and which when destroyed quickly moves to numerous places. On the other hand a layer of such a protective oxide is the main difficulty in arc welding of aluminum and its alloys because it has a very high melting point (about 2060 ° C) while the melting point of the metal is lower (about 660 ° C). In addition to the high thermal conductivity of aluminum, this factor prevents the characteristic melting of the oxide layer, despite the fact that the welding temperatures are higher. As a result, molten aluminum or aluminum alloy under the remaining oxide layer cannot be welded with TIG with a changing polarity with a negative pole tungsten electrode (DCEN).

The surface of oxides on aluminum alloys can be moved using direct current and a tungsten electrode connected to the positive pole (DCEP) (The oxide transfer mechanism is commonly known as cathodic cleaning.). However this method is not widely used due to the instability of the arc and wear of the tungsten electrode. Therefore an intermediate condition is used i.e. the use of alternating current (AC) whereby cathode cleaning takes place during the reverse half-period AC of the welding wave.

When welding speakers in the mechanism of electron emission there is a change at the same frequency at which the polarity changes. With direct polarity (EN) the cathode reaches a sufficiently high temperature for the electron to exit. This happens only for electrodes consisting of materials with a high boiling point (above 4,000 K), such as tungsten. During the phase in which the cathode is a billet (EP), the emission of electrons cannot occur due to thermal exposure due to its low melting point and emission occurs under the action of an electric field in the microscopic zone of the cathode surface (field emission). The cathode spot where the emission

occurs was originally located on the tip of the electrode and is now moving to the edges of the molten metal bath trying to find the exit points of the electrons (Figure 3). The cathode spot takes up much less space during the reverse half period (A1). Thus to obtain a current the density of energy contained in A2 is much greater than in A1 as a result of melting (evaporation) of the oxide layer.

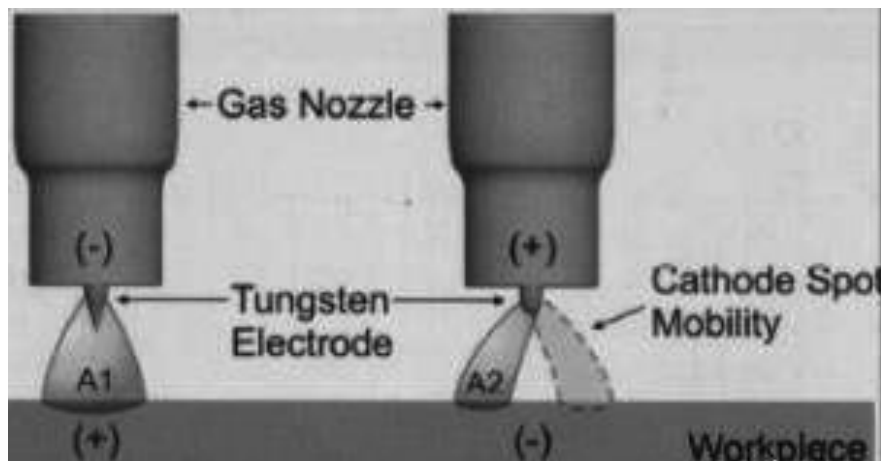


Figure 3 - The plasma arc impact zone on the surface of the workpiece with direct polarity (A1) and the moving plasma arc action zone on the surface of the workpiece with reverse polarity (A2).

1.2.2 Tungsten electrode for aluminum welding

Tungsten electrodes are used in argon-arc welding that is welding with a non-consumable electrode in a protective argon gas medium.

The melting point of tungsten is 3410°C the boiling point is 5900°C . It is the most refractory of the existing metals. Tungsten retains its hardness even at very high temperatures. This allows you to make non-consumable electrodes out of it. In nature tungsten is found mainly in the form of oxidized compounds — wolframite and scheelite.

In argon-arc welding the arc burns between the part to be welded and the tungsten electrode. The electrode is located inside the welding torch. For gas-shielded welding a direct current of direct polarity is usually used. Sometimes a reverse polarity or alternating current is used. In such cases it is advisable to use tungsten

electrodes with alloying additives which increase the stability and stability of the welding arc.

To improve the quality of the electrode (for example, resistance to high temperatures increasing the stability of the arc), oxides of rare-earth metals are introduced into pure tungsten. There are a number of varieties of tungsten electrodes depending on the content of these additives. This determines the brand of the electrode. The brand of the electrode is determined by the color in which one end is painted. Tungsten electrodes are divided into three types: Permanent (WT, WY), Variable (WP, WZ) and Universal (WL, WC).

The following tungsten electrodes are used for welding on alternating current:

- WP (green) - Pure tungsten electrode (content not less than 99.5%). Electrodes provide good arc stability when welding with alternating current, balanced or unbalanced, with continuous high-frequency stabilization (with an oscillator). These electrodes are preferred for welding on alternating sinusoidal currents of aluminum, magnesium and their alloys as they provide good arc stability in both argon and helium environments. Due to the limited heat load the working end of the pure tungsten electrode is formed in the form of a ball. Domestic analog is “ЭБЧ”.

- WZ-8 (white) - Electrodes with the addition of zirconium oxide preferred for welding on alternating current when not even minimal contamination of the weld pool is allowed. Electrodes give an extremely stable arc. The permissible current load on the electrode is slightly higher than on cerium, lanthanum and thorium electrodes. The working end of the electrode when welding on alternating current is processed in the form of a sphere. Domestic counterparts are “БЛ”, “ЭБЛ-2”.

Each of the above electrodes is intended for welding aluminum, magnesium and their alloys the electrodes WZ-8 are also intended for welding bronze, nickel and their alloys.

Domestic counterparts are “ЭБЧ”, “ЭБЛ”, “ЭБЛ-2”, “БТ-15”, “ЭБЛ-1”.

FINDINGS

The analysis showed that in order to weld the worker's wheel it is necessary to choose a unit that meets the following requirements:

- contactless arc ignition
- steady arc burning, when crossing zero
- possibility of welding on alternating current
- availability of pulse welding mode
- availability of gas equipment

Since the arc burning stability is higher for electrodes with a zirconium oxide content, it is necessary to use WZ-8 electrodes with white marking.